

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Příprava a ověření vlastností alkalicky aktivovaného  
vysokopevnostního kompozitu

Preparation and Verification of Properties of Alkali-Activated  
High-Strength Composite

Student:

Bc. Lukáš Janalík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Boháčová

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Janalík**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Příprava a ověření vlastností alkalicky aktivovaného vysokopevnostního kompozitu**  
**Preparation and Verification of Properties of Alkali-Activated High-Strength Composite**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je příprava a ověření vybraných fyzikálně-mechanických a trvanlivostních vlastností alkalicky aktivovaného vysokopevnostního kompozitu na bázi jemně mleté granulované vysokopevnostní strusky.

Seznam doporučené odborné literatury:

PACHECO-TORGAL, F., LABRINCHA, J., LEONELLI, C., PALOMO, A., CHINDAPRASIRT, P. *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes*. Waltham, MA: Woodhead Pub., 2014. ISBN 978-178-2422-761.

VLČEK, J. *Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace*. Ostrava, 2008. Habilitační práce. VŠB-TUO, FMML.

DAVIDOVITS, J. *Geopolymer: chemistry*. 2nd ed. Saint-Quentin: Institute Géopolymere, 2008, 587 s. ISBN 29-514-8201-9.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Boháčová**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

  
Ing. Libor Židček  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....



## **Anotace**

JANALÍK, L. *Příprava a ověření vlastností alkalicky aktivovaného vysokopevnostního kompozitu. Diplomová práce.* VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb, Ostrava, 2016, 113 s.

Alkalicky aktivované systémy představují skupinu hmot, jejichž pojivovou složku většinou tvoří sekundární suroviny technogenního původu a jako aktivátory jsou nejčastěji uplatňovány roztoky alkalických kovů. Pokud je použit optimální poměr jednotlivých surovin, dosahují připravené kompozity vysokých pevností a jsou rovněž velmi odolné vůči různým druhům prostředí.

Dlouhodobě se pracuje na možnosti zavést alkalicky aktivované kompozity do stavební praxe, tomu brání především změna kvality výstupů v závislosti na přípravě této směsi a také používání žíravých látek.

Hlavním cílem této práce je vytvoření vysokopevnostního alkalicky aktivovaného kompozitu vycházející z receptury vysokopevnostního betonu. Součástí práce je i rešerše alkalicky aktivovaných systémů a seznámení s vysokopevnostními betony. Následně jsou popsány zásady navrhování vysokopevnostních betonů a alkalická aktivace kompozitů obsahujících cementové pojivo.

V rámci praktické části je sledováno chování cemento-struskových kompozitů při různých poměrech cementu ke strusce a rovněž vliv jednotlivých typů alkalických aktivátorů na zpracovatelnost a pevnostní parametry. Poslední část je věnována ověření vlastností vybrané receptury alkalicky aktivovaného kompozitu.

**Klíčová slova:** alkalicky aktivovaný, kompozit, cement, vysokopevní granulovaná struska, vysokopevnostní beton.

## **Annotation**

JANALÍK, L. *Preparation and Verification of Properties of Alkali-Activated High-Strength Composite. Diploma thesis.* VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Materials and Diagnostics of Structures, Ostrava, 2016, 113 p.

Alkali activated systems represent a group of materials, where the binder component is generally formed of a secondary raw material of technogenic origin, and as activators are usually used solutions of alkali metals. When optimal ratio of each raw material is used, high strength composites, that are also very resistant to various types of environment, are reached.

There are studies of the possibility of introducing alkali-activated composites into the construction practice, but the main obstacle is variability of the quality of outputs, depending on the way of preparation of the mixture, and also the use of corrosive substances.

The main objective of this work is to create a high-alkali activated composite based on the recipe of high-strength concrete. The work also includes the review of alkali-activated systems, and also conditions of high-strength concrete preparation. Subsequently there are described principles of design of high performance concrete and alkali activation of composites containing portland cement binder.

The practical part of the work is focused on the behavior of the slag-cement composites of different ratios of cement to slag, and also the effect of different type of alkaline activators on the workability and strength parameters are investigated. The last part is dedicated to verifying the selected characteristics of the selected recipe of alkali activated composite.

Keywords: alkali activated, composite, portland cement, blast furnace slag, high strength concrete.

## Obsah

Seznam značení .....	10
1. Úvod .....	12
2. Alkalicky aktivované systémy .....	13
2.1. Reakční mechanismy .....	14
2.2. Reakční produkty .....	15
2.3. Trvanlivost alkalicky aktivovaných betonů .....	16
3. Vysokopevnostní beton .....	16
3.1. Definice vysokopevnostních betonů .....	16
3.2. Vysokopevnostní beton v průběhu času .....	17
3.3. Stavby z vysokopevnostního betonu .....	18
3.3.1. Trojský most v Praze přes Vltavu .....	18
3.3.2. Two Union Square Building .....	19
4. Příprava vysokopevnostního betonu .....	20
4.1. Voda do betonu .....	20
4.2. Vodní součinitel .....	21
4.3. Cement .....	24
4.4. Kamenivo .....	24
4.5. Rozptýlená výztuž .....	25
4.6. Přísady .....	25
4.7. Příměsi .....	26
5. Teoretická východiska pro alkalickou aktivaci .....	26
6. Použité suroviny .....	27
6.1. Cement CEM I 52,5 R .....	27
6.2. Vysokopevní granulovaná struska .....	29
6.3. Mikrosilika .....	30
6.4. Křemičitý písek .....	30
6.5. Čedič .....	31
6.6. Plastifikátory .....	32
6.6.1. Glenium Ace 446 .....	32
6.6.2. CHRYSO Plast 760 .....	33

6.7. Voda .....	33
6.8. Master Fiber 482 .....	33
6.9. Aktivátory.....	34
6.9.1. Vodní sklo + 50% $\Theta$ NaOH .....	35
6.9.2. Metakřemičitan sodný .....	35
6.9.3. Desil Al 1 .....	35
6.10. Zpomalovač Lentan VZ 31.....	36
7. Postupy použitých zkoušek .....	36
7.1. Sítový rozbor .....	36
7.2. Výroba a ošetřování zkušebních těles .....	37
7.3. Stanovení konzistence s použitím stráscacího stolku.....	38
7.4. Pevnost v tlaku zkušebních těles .....	39
7.5. Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles .....	39
7.6. Pevnost v příčném tahu zkušebních těles .....	40
7.7. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu .....	41
7.8. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku zkušebních těles .....	41
7.9. Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu .....	43
7.10. Stanovení mrazuvzdornosti betonu .....	44
8. Referenční směs .....	45
8.1. Naměřené hodnoty .....	45
9. Zkouška zrnitosti .....	50
10. Poměr cementu a strusky.....	51
10.1. 1. Záměs .....	51
10.2. 2. Záměs .....	52
10.3. 3. Záměs .....	53
10.4. 4. Záměs .....	53
10.5. 5. Záměs .....	54
10.6. Shrnutí .....	57
11. Vliv aktivátorů.....	58
11.1. 6. Záměs .....	58
11.2. 7. Záměs .....	60
11.3. 8. Záměs .....	61
11.4. 9. Záměs .....	61

11.5. 10. Záměs .....	64
11.6. 11. Záměs .....	64
11.7. 12. Záměs .....	65
11.8. 13. Záměs .....	66
11.9. 14. Záměs .....	66
11.10. 15. Záměs .....	67
11.11. 16. Záměs .....	69
11.12. 17. Záměs .....	71
11.13. 18. Záměs .....	73
11.14. Shrnutí .....	75
12. Závěrečná směs .....	76
12.1. Receptura závěrečné betonové směsi .....	76
12.2. Naměřené hodnoty .....	76
12.2.1. Pevnost v tlaku .....	76
12.2.2. Pevnost v příčném tahu po 28 dnech.....	78
12.2.3. Pevnost v tahu za ohybu.....	79
12.2.4. Statický modul pružnosti v tlaku a dynamický modul pružnosti .....	80
12.2.5. Stanovení konzistence na střešacím stolku .....	82
12.2.6. Stanovení mrazuvzdornosti .....	82
12.2.7. Stanovení objemové hmotnosti .....	83
12.3. Vyhodnocení .....	83
13. Závěr.....	85
14. Poděkování .....	87
15. Použitá literatura .....	88
16. Seznam obrázků .....	92
17. Seznam tabulek .....	95
18. Přílohy .....	97

## Seznam značení

Ac	Průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku
ASR	Alkalicko křemičitá reakce
C	Concrete
c	Množství cementu
C <sub>3</sub> A	Trikalciumaluminát
CEM I	Portlandský cement
CEM II	Portlandský cement směsný
D	Objemová hmotnost zkušebního tělesa, v kg/m <sup>3</sup>
d <sub>1</sub> a d <sub>2</sub>	Rozměry příčného řezu tělesa, v mm
E <sub>c</sub>	Modul pružnosti v tlaku, v MPa
E <sub>cu</sub>	Dynamický modul pružnosti, v MPa
F	Maximální zatížení při porušení, v N
f <sub>c</sub>	Pevnost v tlaku, v MPa (N/mm <sup>2</sup> )
f <sub>cf</sub>	Pevnost v tahu ohybem, v MPa
f <sub>ct</sub>	Pevnost v příčném tahu, v MPa
HSC	High Strenght Concrete
k	Součinitel rozměrnosti v prostředí
L	Délka dotykové přímky tělesa, v mm
l	Vzdálenost mezi podpěrnými válečky, v mm
m	Hmotnost zkušebního tělesa. v kg
R	Požadovaná rychlost zatěžování, v MPa
s	Přírůstek napětí, v MPa/s

SMF	Sulfan melaminformaldehyd kondenzát
SNF	Sulfan naftalenformaldehyd kondenzát
TBD	Technologie betonových dílců
UZ	Ultrazvuk
V	Objem zkušebního tělesa, v m <sup>3</sup>
v <sub>L</sub>	Impulzová rychlost podélného UZ vlnění, v km/s
w	Množství vody
XF2	Stupeň vlivu prostředí
XF4	Stupeň vlivu prostředí
Θ	Roztok
ε <sub>a</sub>	Průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí
ε <sub>b</sub>	Průměrné poměrné přetvoření při dolním zatěžovacím napětí
ρ	Objemová hmotnost betonu, v kg/m <sup>3</sup>
σ <sub>a</sub>	Horní zatěžovací napětí, v MPa
σ <sub>b</sub>	Základní napětí

## 1. Úvod

Alkalicky aktivované kompozity v současnosti představují alternativní stavební hmoty, jejichž pojivová složka je ve většině případů tvořena sekundárními surovinami technogenního původu, například vysokopecními struskami nebo popílkou, a jako aktivátory jejich latentně hydraulických nebo pucolánových vlastností jsou nejčastěji využívány roztoky alkalických kovů. Při optimálním dávkování použitých surovin poté tyto kompozity mohou dosahovat nadprůměrných pevností a jsou také velmi odolné vůči různým druhům agresivních prostředí.

Dlouhodobě se pracuje na možnosti zavést alkalicky aktivované kompozity do stavební praxe, tomu brání především rozdílná kvalita výstupů v závislosti na podmínkách, vlastnostech vstupních složek a způsobu přípravy a v neposlední řadě rovněž používání žíravých látek ve formě aktivátorů.

Hlavním cílem této práce byla příprava vysokopevnostního alkalicky aktivovaného kompozitu a ověření jeho základních vlastností. V rámci experimentu bylo vycházeno z odzkoušené receptury vysokopevnostního betonu a také z předchozích výzkumných prací v rámci bakalářského studia.

Součástí práce je i stručný popis alkalicky aktivovaných systémů a vysokopevnostních betonů, včetně přehledu vybraných staveb, z tohoto betonu zkonstruovaných. Součástí práce jsou rovněž zásady pro navrhování vysokopevnostních betonů a alkalické aktivace kompozitů obsahujících cementové pojivo.

Praktická část byla věnována přípravě a ověření vlastností alkalicky aktivovaného vysokopevnostního betonu, přičemž v první etapě byl sledován vliv poměru cementu a strusky na pevnostní charakteristiky, druhá část byla věnována přidání aktivátoru do kompozitu, přičemž byly jako aktivátory použity vodní sklo sodné, metakřemičitan sodný a Desil Al. V závěrečné etapě experimentu byly u vybrané receptury alkalicky aktivovaného kompozitu ověřeny jeho vlastnosti, konkrétně konzistence, pevnost v tlaku po 1,7 a 28 dnech, pevnost v příčném tahu, pevnost v tahu za ohybu, statický modul pružnosti v tlaku, dynamický modul pružnosti, objemová hmotnost a mrazuvzdornost.



## 2. Alkalicky aktivované systémy

Alkálie (Na, K) mohou způsobit problémy v technologii portlandského cementu a betonu. Tyto potíže mohou být charakterizovány jako problémy při výrobě slínku a tvorbou nežádoucích křemičitanů a hliníkových fází. Nicméně, alkalická reakce oxidu křemičitého v betonu, která je doprovázena expanzí představuje hlavní zdroj problémů. Tyto problémy vyžadují striktní omezení obsahu alkálií v cementu na hodnoty ve výši 0,6 procenta a méně (vyjádřeno jako  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Na druhé straně však rozpustné alkalické sloučeniny mohou urychlit proces hydratace hydraulických a latentně hydraulických látek, což by umožnilo vznik nových hydratačních fází, jak to dokazuje Purdon ve své práci z roku 1940. V roce 1959 Gluchovský demonstroval ve své knize "Gruntosilikáty" možnost přípravy nových materiálů pomocí reakce surovin hlinítokřemičitých (strusky, popílků, jílové materiály) s alkalickými sloučeninami (uhličitany, hydroxidy, silikáty). Možnosti vyplývající z použití alkalické aktivace hlinítokřemičitých materiálů jsou v současnosti předmětem mnoha výzkumných prací. [2]

Obecně jsou alkalicky aktivované systémy kompozity, jejichž pojivová složka je tvořena latentně hydraulickým materiálem nebo pucolánem a jejíž pojivové vlastnosti jsou aktivovány alkalickým prostředím, jehož je dosaženo použitím vhodného aktivátoru.

Alkalicky aktivované systémy mají širokou škálu použití: ohnivzdorné materiály, ozdobné kamenné artefakty, tepelné izolace, nízkoenergetické keramické obklady a dlažby, žáruvzdorné předměty, žáruvzdorné materiály odolné teplotnímu šoku, biotechnologií (materiály pro lékařské aplikace), slévárenství, tmely a betony, high-tech kompozity pro letecký a automobilový průmysl, omezení radioaktivních a toxických odpadů, umění a dekorace, kulturní dědictví, archeologie a historie vědy. [3]

O použití těchto hmot v minulosti se i aktuálně vedou nejrůznější teorie. Předpokládá se jejich používání již ve starověku, především v Egyptě při výstavbě pyramid. Tuto teorii se snaží již léta prokázat prof. Joseph Davidovits, jež vybranou část těchto kompozitů odborně popsal a v roce 1978 pojmenoval tyto hmoty výrazem geopolymer. [1]

Davidovits jako hlavní průlom považuje objevení geopolymerního tekutého pojiva na bázi metakaolínu a rozpustného alkalického křemičitanu, jenž si následně nechal patentovat.

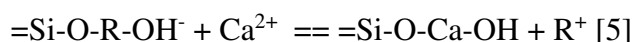
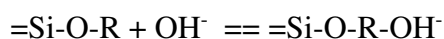
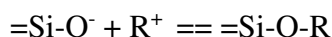
Tehdy bylo cílem experimentu nalézt způsob výroby syntetických zeolitů (zeolit typu A) reakcí metakaolin + NaOH. Tým vědců zjistil, že tato směs je náchylná k exotermní reakci [teplota vyšší než 100 °C, po 1 hodině uložení složek]. Kdyby exotermní reakce nezačala při pokojové teplotě, došlo by k velmi silné exotermické reakci a získaný produkt by byl tvrdý

již po 2 minutách při teplotě 120 °C. Rentgenovou difrakcí následně byla potvrzena přítomnost hydrosodalitu a zeolitu A. [3]

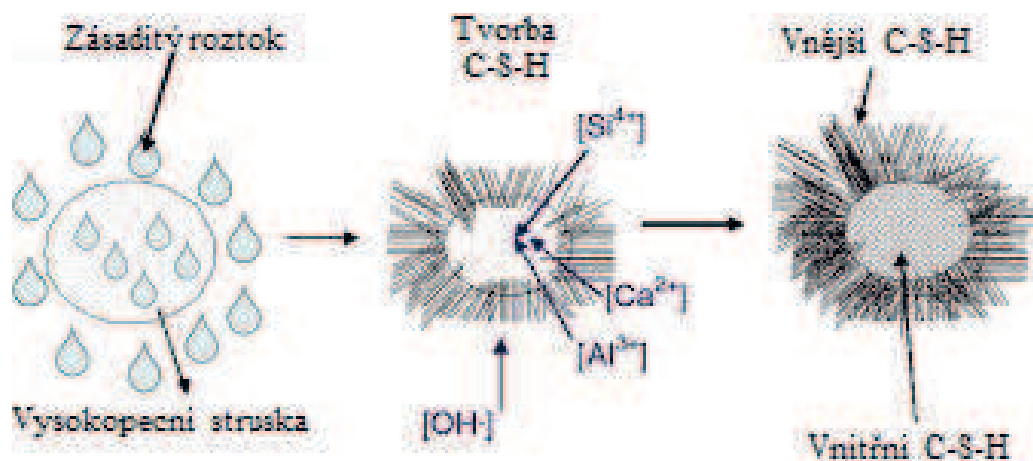
Davidovitsova definice geopolymery tedy zní: „Geopolymer je materiál, který vznikl anorganickou polykondenzací, tedy takzvanou geopolymerační“ (v důsledku alkalické aktivace aluminosilikátových materiálů). Této definici vyhovuje systém, v němž je použitý pouze čistý metakaolin. Davidovits vytvořil termín „geopolymerní“. I přes nepřesnost v současnosti často používáme zjednodušený výraz geopolymer pro všechny alkalicky aktivované systémy. [4]

## 2.1. Reakční mechanismy

Gluchovský a Krivenko navrhli model, který vysvětloval alkalickou aktivaci materiálů bohatých na křemík a vápník, jako je vysokopecní struska, prostřednictvím série reakcí, které jsou shrnuty níže: [5]



Alkalický kation ( $\text{R}^+$ ) působí jako pouhý katalyzátor v počátečních fázích hydratace, prostřednictvím kationtové výměny s  $\text{Ca}^{2+}$  ionty. Fernandez-Jiménez uvedl, že povaha aniontu v roztoku také hraje významnou úlohu v aktivaci, a to zejména v počátku reakcí a s ohledem na prostředí. Jeden z modelů, ve kterém jsou popsány mechanismy reakce (na základě modelu navrženého Glasserem v roce 1990) je znázorněn na obrázku (Obr. 1). Alkalická aktivace strusky je součástí složitého procesu, který probíhá po etapách, v němž je struska ničena s následnou polykondenzací reakčních produktů. [5]



Obr. 1: Teoretický model pro reakční mechanismus alkalicky aktivované strusky [5]

## 2.2. Reakční produkty

Většina reakčních produktů vytvořených při hydrataci portlandského cementu je C-S-H gel, díky němuž kompozit nabývá vysokých pevností a odolností. Sekundární produkty patří portlanditu, ettringitu a vápennému monosulfoaluminátu. Průběh je podobný jako v alkalických cementech. Hlavní reakční produkt, gel (jehož složení a struktura se liší s ohledem na standardní C-S-H, vytvořené v OPC hydrataci), je tvořen spolu s řadou vedlejších produktů. Druh generovaných vedlejších produktů závisí na složení výchozí látky, typu a koncentraci aktivátoru, vytvrzovacích podmínkách a hodnotách pH. [5]

Obecně řečeno, povaha a složení reakčních produktů, které se v průběhu alkalické aktivace materiálů vytvářejí, se řadí mezi nejkontroverznější aspekty této oblasti výzkumu a oblasti, které potřebují další studie. Nicméně, většina autorů se dohodla na tvrzeních uvedených níže. [5]

- Hlavní hydratační produkt je hydrát křemičitanu vápenatého s hliníkem ve svém složení (C-A-S-H gel). Tento gel se mírně liší od gelu, který vzniká v kaši portlandského cementu, v tom, že má poměr C/S je nižší ( $C/S = 0,9 - 1,2$ ). [5]
- Struktura a složení C-A-S-H gelu a přítomnost dalších sekundárních fází nebo sloučenin závisí na druhu a množství použitého aktivátoru, struktuře a složení strusky a vytvrzovacích podmínkách, ve kterých materiál tvrdne. [5]

Minoritní fáze, jejichž tvorba je zařazena do průběhu alkalické aktivace strusky s co největší shodou, jsou uvedeny níže. [5]

- Fáze známá jako hydrotalcit ( $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ ) byla zjištěna ve strusce aktivované prostřednictvím NaOH a vodního skla. Hydrotalcit je přírodní minerál, jehož struktura se skládá z vrstev brucitu a s intersticiálních molekul vody a  $CO_3^{2-}$  ionty. Tyto (často sub-mikroskopické) krystaly jsou rozptýleny v celém C-A-S-H gelu. Fáze tohoto typu byly také nalezeny v cemento-struskových směsích. [5]
- fáze typu  $C_4AH_{13}$  byly detekovány ve strusce aktivované pomocí NaOH. Tyto fáze tvoří destičky 0,1 - 0,2  $\mu m$  tlusté a přibližně 1,5  $\mu m$  v průměru. Další autoři pozorovali syčené fáze jako je  $C_4AcH_{11}$  a  $C_8Ac_2H_{24}$  ve struskových pastách aktivovaných pomocí NaOH a  $Ca(OH)_2$ . [5]

## 2.3. Trvanlivost alkalicky aktivovaných betonů

Hmotnost vzorků těles by se neměla prakticky měnit během zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů, které se odehrávají ve vodním prostředí. Pevnosti v tlaku vzorků těles po zmrazovacích cyklech byly nižší, než výsledky získané u vzorků po 28 dnech zrání bez aplikace zkoušek mrazuvzdornosti. Po 150 zkušebních cyklech nebyly na tělesech žádné viditelné vady a deformace. Hodnoty pevností poklesly asi na 70 %. Proto je zřejmé, že polymerní materiály by měly vykazovat vynikající odolnost vůči mrazu. Tento argument byl potvrzen v mnoha pracích zabývajících se touto tematikou. [6]

## 3. Vysokopevnostní beton

Jelikož je tématem diplomové práce příprava a ověření vlastností vysokopevnostních alkalicky aktivovaných kompozitů, jsou následující kapitoly věnovány problematice vysokopevnostních betonů, jež se řadí do skupiny vysokohodnotných betonů. V následujících podkapitolách jsou tedy definovány tyto materiály, je stručně zmíněna jejich historie a jsou zde uvedeny vybrané stavby z vysokopevnostního betonu. [12]

### 3.1. Definice vysokopevnostních betonů

Definice vysokopevnostních betonů se neustále vyvíjí. V roce 1950 byla jako vysoká pevnost v tlaku na krychli považována hodnota 35 MPa, v roce 1960 již byly pevnosti v tlaku kolem 50 MPa používány běžně. V poslední době se pevnost v tlaku vysokopevnostních betonů pohybuje kolem 140 MPa. Eurokód 2 počítá s pevností betonu až 105 MPa krychelné pevnosti. Neexistuje žádná definice vysokopevnostního betonu v Eurokódu 2, nicméně za vysokopevnostní betony jsou obecně považovány receptury, u nichž je dosaženo pevností v tlaku vyšších než C 50/60. Vysokopevnostní betonové sloupy jsou i při menší ploše více únosné, což umožňuje zvětšení užité plochy, a to zejména v nižších patrech vícepodlažních budov. [7]

Vysokopevnostní betony (HSC) mohou být definovány jako betony s konkrétní charakteristickou pevností krychle mezi 60 až 100 MPa, ačkoli bylo dosaženo i vyšších pevností. Pevnostní limity 80 až 100 MPa a ještě vyšší jsou využívány jak pro prefabrikáty, tak i pro realizace *in-situ* v USA, Francii, Norsku a některých dalších zemích. Mezi hlavní aplikace, v nichž jsou HSC *in-situ* uplatňovány se řadí pobřežní konstrukce, sloupy výškových budov, mosty s velkým rozpětím a další dálniční stavby. Hlavní výhodou je zmenšení průřezu tlačенých prvků a/nebo zmenšení množství požadované podélné výztuže. [9]

### 3.2. Vysokopevnostní beton v průběhu času

Od 80. let se neustále zvyšovala dostupnost betonu s pevnostmi v tlaku nad 60 MPa, což zaujalo pozornost tehdejšího průmyslu, pevnosti takto vysoké byly považovány za revoluční a vyvstávaly otázky, zdali je jich vůbec třeba. [8]

V současnosti jsou již požadavky na pevnosti betonů běžně v rozmezí 100 - 120 MPa a vyšší. Nové obytné věže v centru Seattlu se 42 podlažími mají jako jedny z prvních v zemi použít 150 MPa beton ve svých sloupech. Zde jsou tak efektivně využity poslední pokroky v technologiích betonových materiálů. Tento "super beton" umožňuje tenčí sloupy, kratší a tenčí smykové stěny a zmenšení dalších konstrukčních prvků. To má za následek zvětšení interiéru nemovitostí. A je-li tento beton spárován s moderním, vysoce produktivním bedněním a pokročilou čerpací technologií, která je nyní k dispozici, tak „limitem našich staveb může být až nebe“. [8]

Trend zvyšování pevnosti betonu začal v minulém století, kdy se redukce vody začala dostávat do popředí. Do roku 1950 až 1960, se dodavatelé betonu snažili vytvořit pevnější beton bez ztráty zpracovatelnosti. Bylo dobře známo, že pevnost betonu by mohla být zvýšena snížením obsahu vody. Nedokázali ovšem přijít na to, jak snížit obsah vody a zachovat stejnou zpracovatelnost betonové směsi. Když materiálův vědci začali vyvíjet účinnějších chemické redukce vody (dnes známé především jako plastifikátory), začaly problémy s konzistencí směsi mizet. Plastifikátory se dostaly na trh a rychle se staly populárními, hlavní boom jejich využití nastal v roce 1980. Tyto nové chemické redukce vodního součinitele umožnily vytvoření betonů jak s vyšší pevností, tak s dostatečnou zpracovatelností. Výzkum a vývoj plastifikátorů zaznamenal výraznou poptávku, souběžně se zvýšením zájmu o výzkum a vývoj možné náhrady cementu, například popílkem, křemičitým úletem (mikrosilika) a vysokopevní struskou. Výsledkem byl vývoj moderních vysokopevnostních betonů, jak je známe dnes. Jak pevnosti betonu postupně narůstaly, začaly se rozvíjet i oblasti bednicích systémů a čerpací techniky. [8]

Dnes vysokopevnostní beton našel své místo v první řadě v konstrukcích výškových budov. Ještě před několika desítkami let mnozí architekti věřili, že beton je nevhodný pro výškové budovy, protože nižší pevnost směsi vyžaduje použití masivních prvků na úkor zmenšení užitého prostoru. [8]

### 3.3. Stavby z vysokopevnostního betonu

Jak už bylo zmíněno výše, vysokopevnostní beton má v poslední době široké využití, v pozemním stavitelství, ať už se týče staveb výškových (zde zejména nachází uplatnění v konstrukci sloupů), dopravním stavitelství, kde je hojně využíván ke konstrukci mostů a ve spoustě dalších stavebních odvětví po celém světě.

#### 3.3.1. Trojský most v Praze přes Vltavu

Nový trojský most (Obr. 2) vyniká jedním z nejplošších oblouků mezi, ve světě realizovanými, mosty. Celkově subtilní konstrukce bez opor (v podobě pilířů) a nízké vzepětí oblouku, bylo uskutečněno zejména díky použití nadstandartních vysokohodnotných betonů s pevnostmi vyššími než 100 MPa. [10]

Trojský most je součástí tunelového komplexu Blanka a díky svému rozpětí se řadí mezi největší mosty v České republice. Při jeho realizaci se osvědčilo používání technologických novinek, jako je užití vysokopevnostního samozhutnitelného betonu s nízkým vývinem hydratačního tepla. Aplikována zde byla i vlákna pro redukci smršťovacích trhlin, nebo, prvně u nás, použití chlazení betonu kapalným dusíkem. Všechny konstrukce byly provedeny v pohledové kvalitě. Most měří celkem 262,1 metrů a je široký 36 metrů. Výška nosné konstrukce je 34 metrů nad maximální plavební hladinou Vltavy. [10]

Most byl založen na obou stranách základovou deskou (z betonu C 35/45 XF2) a na těchto deskách byly vybudovány mohutné pilíře (Obr. 2), které jsou založeny na vrtaných pilotech ve skalním podloží na březích řeky. Byla rovněž postavena dočasná ocelová konstrukce, nutná pro montáž nosných konstrukcí. Při konstrukci mostovky byly nejprve namontovány železobetonové příčníky. Jejich vějířovité uspořádání odpovídá tvaru oblouku mostovky hlavního pole, desku tvoří beton C 50/60 XF2. Standartní díly betonové desky se betonovaly po 16 metrových úsecích. Reálné pevnosti betonu C 50/60 XF2 ve stáří 28 dní se pohybují mezi 70 - 80 MPa. Betonáž patek oblouku probíhala vetknutím čtyř ocelových zárodků mostního oblouku do železobetonových opěr mostu. Po osazení na místo byly zárodky vylity vysokopevnostním samozhutnitelným betonem C 80/95 s nízkým vývojem hydratačního tepla. Použitý beton plní i ty nejprísnejší požadavky pro stupeň vlivu prostředí XF4. Beton vykazoval po 28 dnech pevnost více než 120 MPa. [10]



Obr. 2: Trojský most v Praze přes Vltavu (vlevo-pilíře před betonáží patek oblouku, uprostřed-pohled na šířku mostu po zhotovení hlavních nosných prvků a vpravo celkový pohled na most těsně před jeho dokončením) [10]

### 3.3.2. Two Union Square Building

Two Union Square Building (Obr. 3) je 58-podlažní mrakodrap v Seattlu, ve státě Washington, postaven byl v letech 1988-1989 a v tehdejší době představoval velmi inovativní design.. Jednalo se o první konstrukci s vysokohodnotnými betony, jejichž pevnosti dosahovaly 120 MPa. [11]

Přestože pevnost v tlaku 90 MPa byla dostatečná, pro strukturální zatížení tlakem byla navržena receptura s pevností 120 MPa, a to z důvodu dostatečné tuhosti konstrukce ve všech patrech. Složení betonu, který byl použit k vytvoření Two Union Square v Seattlu je uveden v tabulce (Tab. 1). [11]

Tab. 1: Složení a pevnosti betonu použitého na Two Union Square Bulding [11]

Beton použitý při stavbě Two Union Square	
Složení betonu	
Složka	Dávkování
Voda	130,0 kg/m <sup>3</sup>
Cement typu I/II	513,0 kg/m <sup>3</sup>
Křemičitý úlet	43,0 kg/m <sup>3</sup>
Hrubé frakce kameniva	1080,0 kg/m <sup>3</sup>
Jemná frakce kameniva	685,0 kg/m <sup>3</sup>
Superplastifikátor	15,7 l/m <sup>3</sup>
Pevnosti betonu	
Doba zrání [dny]	Pevnost v tlaku [MPa]
2	64,8
7	90,7
28	119,0
91	145,0

Tyto betony bylo možné použít díky dostupnosti vysoce kvalitních materiálů v Seattlu. Jako cement byl použit ASTM typu I / II portlandský cement. Ten má velmi nízký obsah alkálií,

a to méně než 0,4 %, pokud jde o  $\text{Na}_2\text{O}$  ekvivalent. Jako kamenivo byly použity úlomky vzniklé erozí syenitu. [11]



Obr. 3: Two Union Square budova v Seattlu

## 4. Příprava vysokopevnostního betonu

Metody a technologie pro výrobu vysokopevnostních betonů nejsou podstatně odlišné od těch, jež jsou používány při výrobě běžných betonů. Cílem je vhodný poměr vody a cementu, který by měl být v rozmezí 0,30 - 0,35 nebo dokonce nižší. HSC mohou být vyrobeny ze všech druhů cementů a cementových náhrad. Může být použita široká škála kameniva, i když drcené kamenivo je vhodnější. Použití plastifikátorů k dosažení maximální redukce záměsové vody je podmínkou. Křemičité úlety (mikrosilika), nebo metakaolin mohou být použity pro zvýšení pevnosti nad 80 MPa. [9]

### 4.1. Voda do betonu

Funkce vody v čerstvém betonu je hydratační a reologická. Hydratační funkce vody je podílení se na hydrataci cementu. Pro hydrataci cementu je zapotřebí minimálního množství



vody asi 23 – 25 % hmotnosti pojiva. Reologická funkce vody se podílí na tvorbě tvarovatelného čerstvého betonu, který specifikujeme stupněm konzistence. [12]

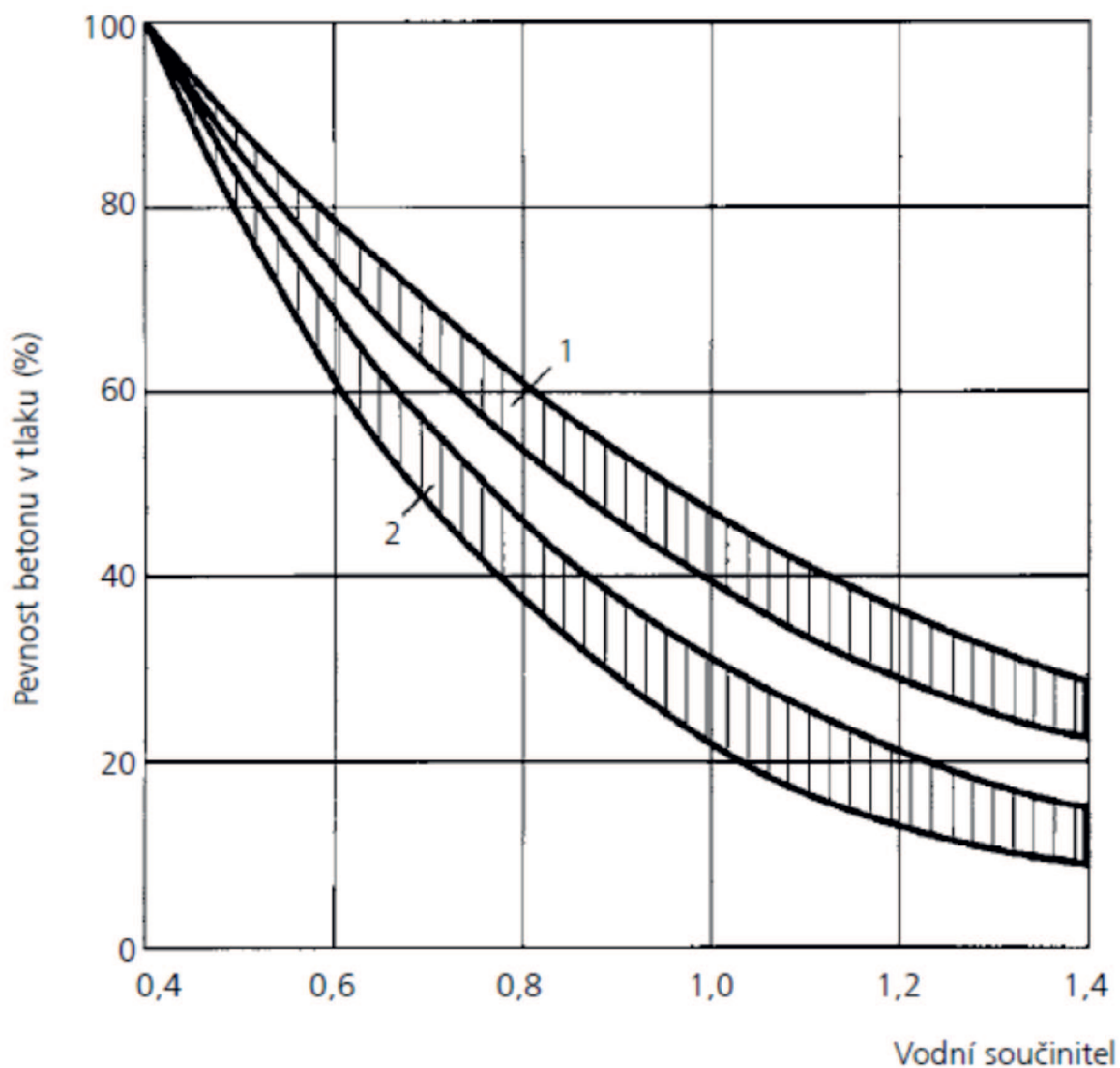
Technologicky se voda rozděluje na záměsovou (přidávána při výrobě čerstvého betonu) a na ošetřovací (voda, kterou se beton kropí a udržuje jej tak ve vlhkém stavu minimálně po určitou požadovanou dobu). [12]

Záměsová voda musí splňovat požadavky ČSN EN 1008. Pitná voda těmito kritériím vyhovuje vždy a není nutné ji testovat. Pro výrobu betonu je možné také použít vodu užitkovou a přírodní (podzemní, povrchová). Tyto vody nesmí obsahovat látky organického původu (částice uhlí, cukry, aj.) a nepřípustné množství soli, jejichž přítomnosti by negativně ovlivnila hydrataci cementu. Nepřípustnými látkami znečišťujícími vodu jsou rovněž tuky a oleje. [4, 12]

#### **4.2. Vodní součinitel**

K redukci vody v betonu se používá vodní součinitel, což je hmotnostní poměr účinného obsahu vody ( $w$ ), ke hmotnosti cementu ( $c$ ). Vodní součinitel ( $w/c$ ) poté vyjadřuje koncentraci cementového tmelu. Zároveň je i určitý ukazatel pevnosti (Obr. 4) a pórovitosti ztvrdlého cementového kamene. Za předpokladu dokonalého zhutnění cementového tmele obecně platí, že se zvyšující se hodnotou vodního součinitele nastává pokles pevnosti cementového kamene z důvodu zvyšujícího se celkového obsahu pórů. [4, 12]

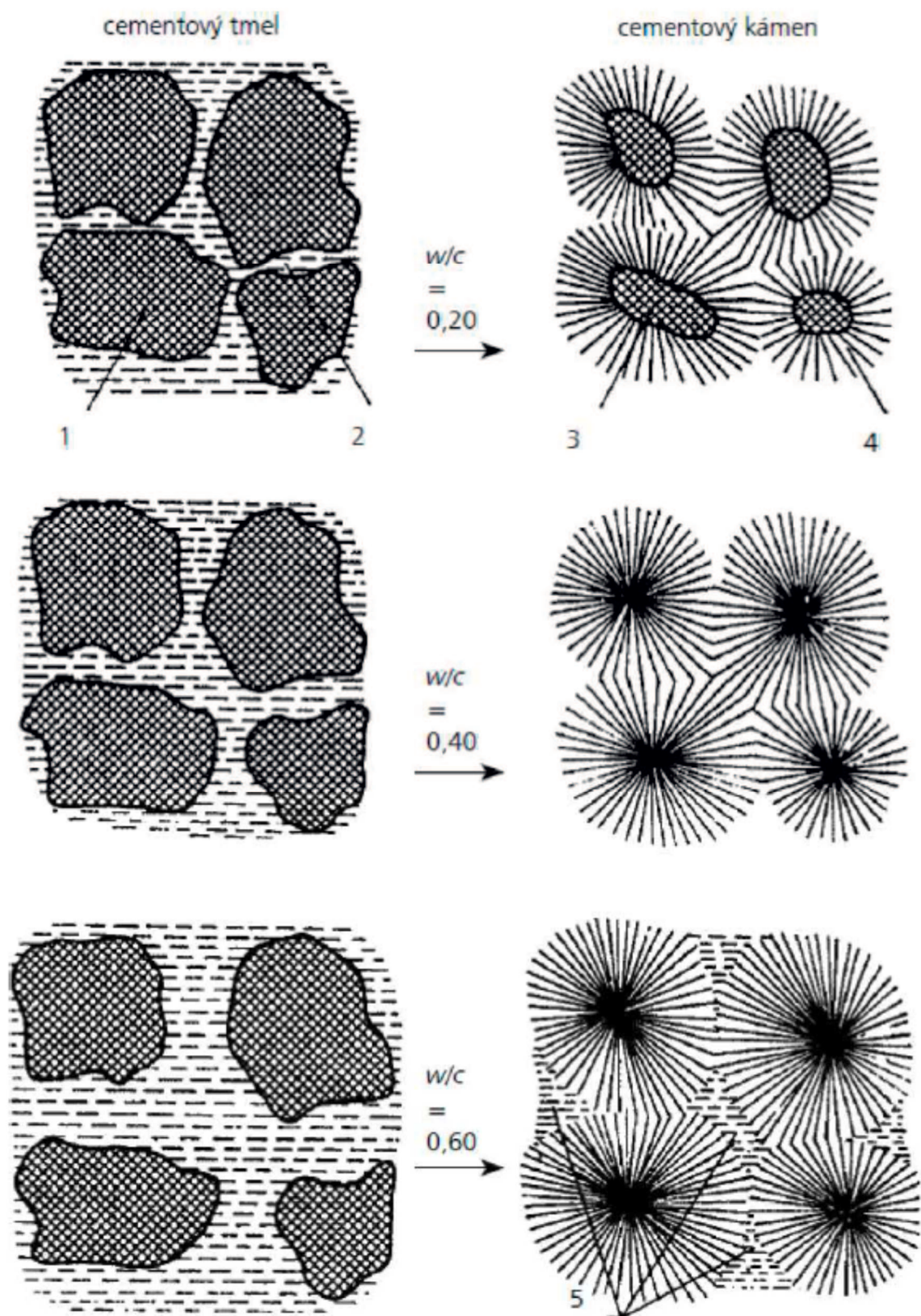
K vodnímu součiniteli nelze opomenout připočítat, mimo obsah cementu a vody, i vodu, kterou obsahuje suspenze křemičitého úletu, ovšem jen při jeho použití, a nesmíme opomenout i další obsah tekutých přísad. K hmotnosti pojiva mimo cement se počítá i s obsahem pevné fáze suspenze křemičitého úletu a zároveň i s ostatním množstvím použitých pucolánových materiálů. [4, 12]



Obr. 4: Vztah mezi vodním součinitelem a pevností betonu [4, 12]

1 - Oblast pevnosti v tahu za ohybu, 2 - Oblast pevnosti v tlaku

Za běžných okolností veškerý cement v betonu nezhydratuje, jelikož nedojde k hydrataci relativně velkých zrn cementu ( $> 50 \mu\text{m}$ ) až do jádra (Obr. 5). K hydrataci veškerých zrn také nemusí dojít kvůli nerovnoměrnému rozptýlení záměsové vody a zároveň také dochází k předčasnému vypařování vody. Důležitou roli proto zastává voda ošetřovací, a to jak během hydratace, tak i poté při nárůstu pevností betonu. [4, 12]



Obr. 5: Hydratace cementu v závislosti na vodním součiniteli [4, 12]

1 - Cementové zrno (slínek), 2 - Voda, 3 - Nezhydratovaný cement, 4 - Zhydratovaný cement,  
5 - Kapilární póry

### 4.3. Cement

K výrobě vysokopevnostních betonů jsou použita v zásadě identická pojiva, která se používají i k výrobě běžného betonu. To platí jak pro různou minerální skladbu slínku cementu portlandského, tak i pro přímletí pucolánových či latentně hydraulicky působících materiálů, ale také i pro jemnosti mletí. U cementu je požadováno, aby vyhověl normě ČSN EN 197-1. Kontrolu jakosti provádíme dle ČSN EN 206-1. Vždy je nutná optimalizace jak v ekonomickém tak v technickém směru, protože mnohdy je výběr pojiva motivován jen ekonomickou kalkulací. [4, 13]

V závislosti na požadavcích na pevnost betonu, zpracovatelnosti čerstvé betonové směsi a dalších vlastnostech se optimální množství cementu pohybuje mezi 350 – 500 kg/m<sup>3</sup>. Pro vysokopevnostní betony do tříd C 80/95 je doporučené množství cementu 400 až po maximálně 450 kg/m<sup>3</sup>, a to především kvůli nebezpečí vzniku trhlin vlivem vývoje značného množství hydratačního tepla. Pokud jsou použity vybrané typy příměsí (křemičitý úlet, metakaolin, apod.), lze snížit dávku cementu pod 400 kg/m<sup>3</sup>, nesmí být ovšem opomenuta alkalická kapacita cementového tmele, kterou je nutno zachovat. [4, 13]

Při výběru cementu je nutné dbát na složení slínku a jemnost mletí cementu, jež stejně jako vodní součinitel ovlivňují konečnou pevnost. Do třídy C 70/85 můžeme používat CEM I 42,5. Nad tuto pevnostní třídu se doporučuje CEM I 52,5, nicméně pokud vyhoví, tak lze použít i kvalitní CEM I 42,5, nebo směsný cement CEM II 42,5, ale i CEM II 52,5. Používají se cementy, které mají hodnotu mletí Blaine od 3000 cm<sup>2</sup>/g. [4, 13]

### 4.4. Kamenivo

Kamenivo v betonech nachází výhradně použití jako plnivo a tvoří kostru betonové směsi vzájemným zaklíněním jednotlivých zrn do sebe. Požadavky na kamenivo jsou uvedeny v ČSN EN 206-1. Pokud jsou zvláštní požadavky na kamenivo, je nutné je uvést v projektové dokumentaci. U HSC je požadováno použití kvalitního a hutného kameniva. Při návrhu receptury musí být zohledněny hlavní parametry vybraného kameniva. Jedná se o celkovou křivku zrnitosti, geometrický tvar (tvarový index by se měl blížit hodnotě 1), mechanické vlastnosti (vysoká pevnost a modul pružnosti hrubého kameniva) a v neposlední řadě spolupůsobení cementového tmelu s kamenivem. [4, 13]

Křivku zrnitosti je nutno podrobit průkazní zkoušce (sítovému rozboru), což umožní potvrdit její optimální tvar. Tvar této křivky kameniva by měl být následně při přípravě betonu dodržován a kontrolován. [4, 13]

Při smršťování cementového tmele vznikají mikrotrhliny kolem zrn hrubého kameniva, proto se jako maximální velikost zrna volí 16 mm (pro pevnostní třídu vyšší než C 80/95 jen 11 mm). Jako hrubá frakce je výhradně doporučeno drcené kamenivo kvůli lepší soudržnosti. U hrubých zrn je nutné dbát na dostatečnou pevnost a vhodnou granulometrii, naprosto čistá bez prachových částic a bez obsahu reaktivního  $\text{SiO}_2$ . Oproti tomu jako drobné kamenivo se doporučuje těžené prané kamenivo s vyšším obsahem středních a větších částic a s plynulou granulometrií. Drobné kamenivo by mělo s jemnozrnnými příměsemi, pokud jsou použity, vytvářet plynulou křivku zrnitosti. Použití recyklovaného kameniva je zakázáno. [4, 13]

Kamenivo by mělo mít vyšší pevnosti než cementový tmel. U modulu pružnosti kameniva mohou nastat dvě varianty. Shoda modulu pružnosti cementového tmele a kameniva, což vede k vysoké pevnosti betonu. Druhá varianta je rozdílný modul pružnosti, který zmírňuje křehkost betonu. [4, 13]

#### **4.5. Rozptýlená výztuž**

Běžně vyztužené HSC betony mají výrazné autogenní smršťování, což není zvláštností, vzhledem k tomu, že hlavní obecnou nevýhodou betonu je jeho křehkost a smršťování. Trvanlivost a nepropustnost konstrukcí z HSC betonů mohou být ohroženy vznikem trhlin a jejich rozvojem, což lze výraznou měrou omezit používáním rozptýlené výztuže s vysokým modulem pružnosti. Rozptýlená výztuž může mít vliv i na statickou únosnost a spolehlivost prvku s vysokým smykovým namáháním. Také pomocí této výztuže lze nahradit mnohdy pracnou a složitou betonářskou výztuž. Drátky (rozptýlená výztuž) mohou také posloužit omezením nebo úplným vyloučením dilatačních spár v průmyslových podlahách nebo u bezespárých mostních vozovek. Rozptýlená výztuž může být v podobě drátků ocelových a skleněných, polymerových a plastových vláken. [4, 13]

Nevýhodou rozptýlené výztuže, při obsahu drátků nad  $120 \text{ kg/m}^3$ , může být nepříznivý vliv na konzistenci betonu, což lze omezit, pokud je použit jemnozrnný beton. Je nutné rovněž řešit způsob, jakým se budou rozduřovat a dávkovat drátky, aby nemohlo docházet k jejich shlukování a aby bylo zajištěno jejich homogenní rozložení v betonu, ve kterém jsou použity, nebo v jeho části. [13]

#### **4.6. Přísady**

Při návrhu HSC je nutnou podmínkou použít účinné a kompatibilní přísady, které vyhovují normám. Vzhledem k dnešnímu progresu ve výrobcích stavební chemie, pozbývá

význam některého dělení přísad, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 934-2 smysl. Například je používán výraz „plastifikátor“ bez předpon (super, hyper, ...). [13]

Přísady jsou používány do HSC ze tří hlavních důvodů. Je nutné kvalitně dispergovat částice pojiva, dále je nutné snížit obsah vody a na závěr je nutné zajistit dostatečnou dobu zpracovatelnosti betonu. Vše výše uvedené je možné zajistit pomocí jedné moderní přísady, kterou lze poté považovat za „multifunkční přísadu“ (navíc toto označení je v souladu s normou ČSN EN 934-2). [13]

Jako plastifikátor pro HSC jsou používány převážně sulfanové melaminformaldehydové nebo naftalenformaldehydové kondenzáty (SMF, SNF). Tyto přísady jsou dávkovány nad 1,5 % hmotnosti cementu, aby bylo dosaženo optimální konzistence rozlití F5 a víc. Také je možno použít přísady na bázi polykarboxyterů. [4]

#### **4.7. Příměsi**

Dle normy ČSN EN 206-1 se příměsi dělí na:

- Druh I – inertní příměs (kamenná moučka, různé pigmenty a mletý vápenec)
- Druh II – latentní hydraulická či pucolánová příměs (mletá struska, popílek, metakaolin a křemičitý úlet) [13]

Křemičitý úlet a metakaolin se používají především u vyšších tříd betonu než C 70/85. [13]

Pro použití křemičitého úletu je podmínkou splnit požadavky ČSN EN 13263. Jedná se o vedlejší produkt průmyslové výroby, a proto může vykazovat rozdílné vlastnosti.

Metakaolin se rovněž ověřuje dle ČSN EN 13263. Na rozdíl od mikrosiliky však jako primární produkt výroby bývá předmětem podnikových norem výrobce. [13]

Doporučené dávkování těchto přísad se mnohdy liší. Různé zdroje uvádí dávkování v rozmezí 5 - 15 % z hmotnosti cementu. Pro dostačující rozptýlení metakaolinu nebo křemičitého úletu je zapotřebí použití plastifikačních přísad. Z tohoto důvodu je u čerstvého betonu účinnost těchto plastifikačních přísad a příměsí nutno vždy posoudit dohromady. [13]

### **5. Teoretická východiska pro alkalickou aktivaci**

Při teoretické přípravě praktické části bylo vycházeno z některých zahraničních zdrojů, jež se rovněž pokoušely o nahrazení cementové složky betonu alkalicky aktivovanou

matricí. Poznatky z těchto zdrojů byly následující: Hmoty, kde byl portlandský cement nahrazen (0 % až 100 %) vysokopecní struskou, byly aktivovány roztokem NaOH nebo vodním sklem v dávkování 0 - 10 % hmotnosti strusky, s cílem zkoumat účinek alkalické aktivace při redukci nízké počáteční pevnosti pozorované ve směsích cemento-struskových. U aktivovaných směsných hmot, při zvýšených % NaOH a strusky bylo dosaženo výrazného nárůstu pevnosti. U směsi složené z 80% strusky a 20 % cementu byly při použití 6 až 10 % roztoku hydroxidu sodného rovněž dosaženy příznivé výsledky. Oproti tomu při množství pouze 30 až 50 % strusky a přítomnosti alkalického aktivátoru nebylo dosaženo hodnot pevností vyšších, než v porovnání s původními cemento - struskovými nebo čistě cementovými maltami, proto je zřejmé, že pro uplatnění alkalického aktivátoru by pojivovou složku mělo tvořit minimálně 60 % strusky oproti maximálně 40 % cementu. [38, 39]

Pozorování mikrostruktury potvrdilo hustší matici hydratačních produktů při zvýšení množství strusky a zároveň alkalické koncentrace, což odpovídá pevnostnímu pozorování. Jiné zdroje zase uvádí, že cement a struskuje optimální dávkovat maximálně v poměru 40 až 60 % strusky a používat pouze 1 % (hmotnosti strusky) vodního skla s roztokem hydroxidu sodného. Při tomto poměru poté bylo dosaženo nejlepších výsledků. [38, 39]

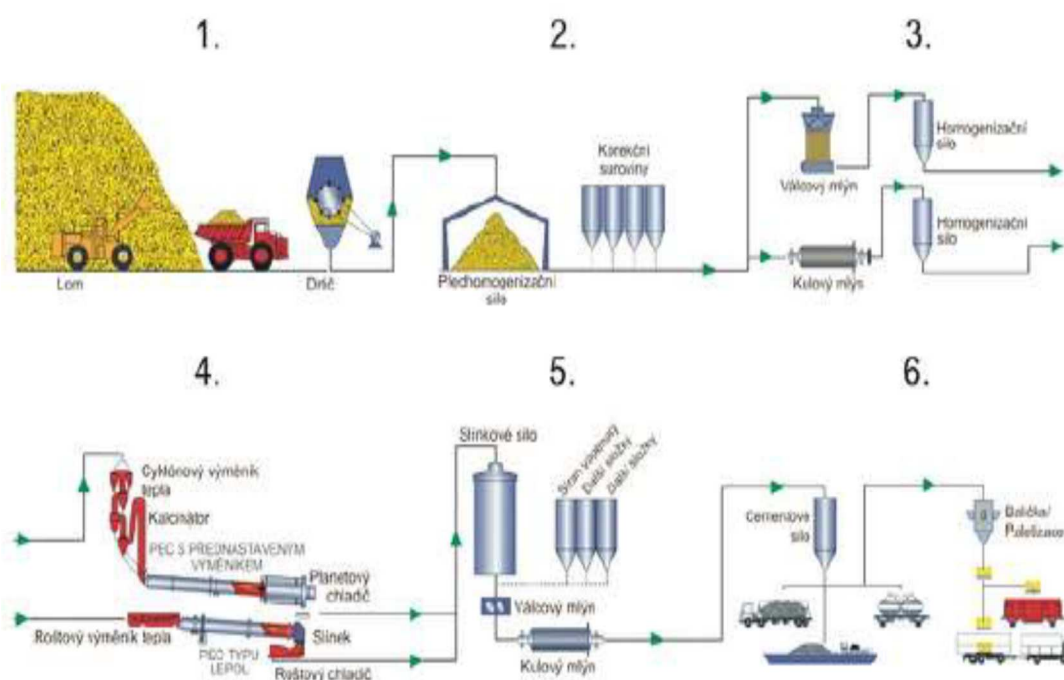
## **6. Použité suroviny**

Výběr surovin byl dán referenční recepturou, která byla připravena v rámci předmětu Technologie betonových dílců. Zbytek surovin byl vybírán na základě odborných článků a dále dle výzkumných prací, které byly uskutečněny na katedře Stavebních hmot a diagnostiky staveb FAST, VŠB - TUO. Suroviny, jež byly v experimentu použity, jsou popsány v následující kapitole a jejich příslušné technické listy a prohlášení o vlastnostech jsou uvedena v Přílohách č. 1 - 9. [13]

### **6.1. Cement CEM I 52,5 R**

Cement v betonu plní funkci pojiva. Po jeho smíchání s vodou vzniká cementový tmel, ten tuhne, tvrdne a stává se z něj cementový kámen. Tento proces může probíhat jak ve vodě, tak na vzduchu. Po zatvrdnutí si zachovává svoji stálost a pevnost jak ve vyschlém stavu, tak i v dlouhodobé vodní expozici, jedná se tedy o hydraulické pojivo. Výroba prochází přes těžbu surovin, drcení, předhomogenizační skládku, doplnění vhodných přísad, mletí, výpal, chlazení, balení a expedici ke spotřebitelům (Obr. 6).





Obr. 6: Zjednodušené technologické schéma výroby cementu

Portlandský cement CEM I 52,5 R je vyráběn v souladu s normou EN 197-1. Jedná se o hydraulické práškové pojivo vyráběné společným semletím portlandského slínku, síranu vápenatého, doplňujících složek a přísad. Složky jsou specifikovány dle technické normy EN 197-1 v článku 5. Tento portlandský cement CEM I 52,5 R je jako balený na trh dodáváný pod obchodním názvem TOPCEMENT. [14]

Topcement se používá pro náročné betonové a železobetonové stavební konstrukce, drobné betonové a velkorozměrové dílce, které jsou vystaveny velmi vysokému mechanickému zatížení. Dále je vhodný pro vysokopevnostní betony (vysokohodnotné betony), předpínané betony a pro betony, kde je požadavek na velké počáteční pevnosti, například pro rychlé odformování. Je nevhodný pro masivní betonové stavby. [14]

Dodává se buď volně ložený v autocisternách, nebo v železničních vagonech. V rámci experimentu byl používán cement balený v papírových pytlích po 25 kg, na EURO paletách po 1,4 t zakrytých smršťovací fólií. [14]

Jeho charakteristické vlastnosti jsou velmi rychlý nárůst pevností, má nejvyšší počáteční pevnosti z cementů vyráběných v Hranickém závodě, nejvyšší normalizované pevnosti (61 MPa) z cementů vyráběných společnostmi Cement Hranice a.s., značný vývin



hydratačního tepla během tuhnutí a tvrdnutí a je použitelný pro všechny stupně vlivu prostředí dle ČSN P 73 2404. [14]

## 6.2. Vysokopecní granulovaná struska

Vysokopecní granulovaná velmi jemně mletá struska se ve stále větší míře uplatňuje ve stavebnictví (Tab. 2). Vzniká jako roztok neželezných kovů a dalších složek při výrobě železa. Poté je vodou prudce ochlazená tak, aby bylo zachováno maximální množství skelné fáze, jež je nositelem latentně hydraulických vlastností. Takto ošetřená struska se následně dále upravuje. Ve velmi jemně mleté formě jí můžeme využít na přípravu silikátových nátěrových hmot. Struskou můžeme i nahradit křemičitanový písek, což je výhodné z ekonomického hlediska. V dnešní době je nejpoužívanější proces zpracování vysokopecní strusky granulace. Během zpracování však vznikají emise, a to když se roztavená struska střetne s vodou. Hlavně se sirnými sloučeninami CaS a MnS, pak následuje vytvoření pár a emisí  $H_2S$  a  $SO_2$ . Díky tomu vzniká problém s korozí zařízení a nepříjemný zápach. [15]

Tento materiál nachází uplatnění jako samostatná surovina pro výrobu vysokopecního a směsného cementu, dále slouží k výrobě izolačních materiálů a jako surovina v různých odvětvích keramického průmyslu. Pokud je hrubší, je vhodná jako aktivní plnivo. Strusku můžeme také použít jako pojivo v některých betonech, kde buďto nahrazuje část cementu nebo dokonce veškerý cement. Pokud využíváme vysokopecní strusku v oblasti pojiv, pak je její kvalita dána obsahem skelné fáze a má mnoho předností. Dále můžeme vysokopecní strusku využít jako lehčenou, což je umělé pórovité kamenivo vyráběné z vhodné strusky jejím napěňováním. Zpěněné strusky se dříve využívalo též jako plniva lehkých izolačních betonů obvodových plášťů. Při výrobě jedné tuny surového železa vzniká asi 350 až 500 kg vysokopecní strusky. [15]

Tab. 2: Chemické složení vysokopecní strusky [23]

Vysokopecní jemně mletá granulovaná struska	
Složka	Procentuální zastoupení [%]
CaO	40,0
MgO	8,9
SiO <sub>2</sub>	39,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4
SO <sub>3</sub>	0,6
(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	1,2

### 6.3. Mikrosilika

Velmi jemné částice amorfního oxidu křemičitého, shromážděné v systému odstraňovače prachu při výrobě křemíku a ferosilicia, získaly alespoň patnáct různých jmen, včetně křemenného prachu, křemičité moučky a křemičitého prášku. Až do nedávné doby byl název křemičitý úlet pravděpodobně nejpoužívanější. Ve stavebnictví se odkazovalo na tento materiál jako na křemičitý úlet, nyní se však používá hojně termín mikrosilika. [16]

Mikrosilika je minerální směs, skládá z velmi jemných pevných skelných kuliček oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ). Většina z částic mikrosiliky jsou v průměru menší než 1 mikrometr, tedy obvykle 50 až 100 krát jemnější než průměrný cement nebo částice létavého popílku. [16]

Mikrosilika, často označována jako kondenzovaný křemičitý úlet, je vedlejší produkt průmyslové výroby feromolybdenu křemíku a kovového křemíku, ve vysokoteplotních elektrických obloukových pecích. Ferosilicium nebo křemík se z výrobku odvádí jako kapalina ze spodní části pece. Pára stoupající z lůžka pece (2000 °C) se oxiduje, a po ochlazení, kondenzuje do částic, které jsou uvězněné v obrovských plátěných sáčcích. Zpracování kondenzovaných výparů je za účelem odstranění nečistot a kontroly velikosti částic mikrosiliky. [16]

Výroba mikrosiliky v USA se odhaduje na asi 300.000 tun ročně, přičemž světová produkce se blíží 1,1 milionu tun. Teprve v poslední době se mikrosilika začíná využívat ve Spojených státech jako příměs do betonu. Většina ze světové produkce slitiny křemíku je zpracována ve Skandinávii, která je bohatá na vodní elektrárny a upřednostňují se elektrické obloukové pece, počátky používání mikrosiliky zde začaly již nejméně před 15 lety. [16]

Mikrosilika v betonu přispívá k nárůstu pevnosti a trvanlivosti dvěma způsoby. Funguje jako pucolán, kdy mikrosilika poskytuje rovnoměrnější distribuci a větší objem produktů hydratace a také jako plnivo, které snižuje průměrnou velikost pórů cementové pasty. [16]

### 6.4. Křemičitý písek

Křemičitý písek je charakterizován vysokou chemickou čistotou, kdy je obsah  $\text{SiO}_2$  více než 99,5 %. Písek je možné všeobecně charakterizovat jako směs jemných zrn horniny a případně malých kamínků. Velmi jemné kopané písky používáme jako přísadu do malt a omítek. Hrubší frakci (0/4 mm), která je tříděna ve šterkovnách, se používá k výrobě betonu. Písek, který nevyhovuje požadavkům pro malty a betony se používá jako zásypový (výkopy,

kanalizace, apod.). Vysoce kvalitní křemičitý písek se používá ve stavebnictví při výrobě stavebních tmelů, lepidel, pryskyřičných směsí nebo speciálních sanačních betonů, dále v zoologii, zahradnictví a také jako křemičitý písek. [17, 18]

V diplomové práci byl použit křemičitý písek frakce 0,1/0,5 k doplnění jemné frakce kameniva. Společně s mikrosilikou, která vyplňuje ty nejmenší mezery v kostře betonu, pomáhá tak utvářet hutný kompozit.

## 6.5. Čedič

Jako kamenivo do vysokopevnostního betonu byl zvolen čedič. Čedič je šedá až černá sopečná hornina. Je obvykle jemnozrnný vzhledem k rychlému ochlazení lávy na zemském povrchu. Porfyrická fáze může obsahovat větší krystaly v jemné matici, sklípky nebo napěněnou škváru. Mineralogie čediče se vyznačuje přítomností hlavně vápenatých plagioklasů, živců a pyroxenů. Nerosty přítomné obsahují v relativně malých množstvích oxidy železa, jako je magnetit, ilmenit, atd. (Tab. 3). [19]

Průmyslové aplikace čediče jsou založeny na základních vlastnostech kvality čediče, jako je vysoká odolnost proti otěru, pevnost v tlaku a odolnost proti chemikáliím. Typické aplikace čediče jsou drcený kámen, betonové kamenivo, výroba vysoce kvalitních textilních vláken, dlažeb, aj. [19]

Tab. 3: Chemické složení čediče v České republice [19]

Čedič - chemické složení	
Hlavní prvky	Hmotnostní %
SiO <sub>2</sub>	43,5 - 47
TiO <sub>2</sub>	2,0 – 3,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,0 – 13,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,0 – 7,0
FeO	5,0 – 8,0
MnO	0,2 – 0,3
MgO	8,0 – 11,0
CaO	10,0 – 12,0
Na <sub>2</sub> O	2,0 – 3,5
K <sub>2</sub> O	1,0 – 2,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5 – 1,0

V diplomové práci bylo použito čedičové kamenivo frakce 1/4 mm z důvodu vyplývajících ze zásad pro návrh vysokopevnostních betonů. Frakci 0/1mm ve směsi zastupuje křemičitý písek a mikrosilika.

## 6.6. Plastifikátory

Plastifikátory jsou do směsi přidávány kvůli redukci záměsové vody. Po celou dobu experimentu byl používán plastifikátor Glenium Ace 446. Plastifikátor Chrysoplast 760 byl použit pouze u jedné směsi, ve které se neuplatnil, a proto nebyl dále používán.

### 6.6.1. Glenium Ace 446

Superplastifikační přísada nové generace na bázi polykarboxylátetheru. Přísada je optimalizována pro výrobu prefabrikovaného betonu. Přísada odpovídá normě ČSN EN 934-2. Master Glenium ACE 446 je vhodný pro výrobu prefabrikátů, s využitím betonu s plastickou konzistencí, bez segregace, s nízkým vodním součinitelem a s vysokými počátečními a konečnými pevnostmi. Master Glenium ACE 446 je inovovaná superplastifikační přísada druhé generace polymerů na bázi polykarboxylátetheru, zvláště vyvinutý pro beton s vysokým vývinem hydratačního tepla. Molekulární uspořádání přísady Master Glenium ACE 446 urychluje hydrataci cementu. Rychlá adsorpce molekul na cementové částice, kombinovaná s účinným disperzním efektem, odkrývá zvětšený povrch cementových částic pro reakci s vodou. Výsledkem tohoto efektu je rychlý vývoj hydratačního tepla, rychlý vývoj hydratačních produktů a následně vyšší počáteční pevnost. Vlastnosti viz. Tab. 4.[20]

Tab. 4: Technické údaje Master Glenium ACE 446 [20]

Master Glenium ACE 446 - technické údaje	
Vzhled	Mléčná až žlutá kapalina
Objemová hmotnost (při +20°C)	1,02 – 1,06 g/ml
Obsah chloridů	≤ 0,1 % hm.
Obsah alkálií (Na <sub>2</sub> O ekv.)	≤ 2,5 % hm.

Účinné dávkování obecně je mezi 0,6 – 1,0 % hmotnosti cementu. Konkrétní dávkování je závislé na množství faktorů, např. požadované zpracovatelnosti, druhu cementu, technologii výroby atd. Před použitím je nutné provést průkazní zkoušku dle ČSN EN 206–1. V betonárně se doporučuje přidat přísadu společně s poslední třetinou záměsové vody, popř. dodatečně do hotové betonové směsi. Nejlepších výsledků je dosahováno, pokud přísadu přidáme do míchačky jako poslední, po všech složkách a nejméně po 80 % záměsové vody. Je nutné dodržet dobu pro zamíchání do směsi podle konkrétních podmínek, ale minimálně 1 min. [20]

### 6.6.2. CHRYSO Plast 760

Příspěvek na bázi sulfonů polynaftalenu. Působí současně na disperzi částic v betonu, soudržnost čerstvého betonu, vlastnosti pro uchovávání zpracovatelnosti. Jeho použití napomáhá homogenizaci betonu, u něhož následně nedochází k segregaci či krvácení a má stabilní zpracovatelnost s časem. Používá se pro výrobu betonu s dobrou povrchovou úpravou a vysokými tlakovými pevnostmi. Vlastnosti viz. Tab. 5. [21]

Tab. 5: Technické údaje CHRYSO Plast 760 [21]

CHRYSO Plast 760 – technické údaje	
Skupenství	Kapalina
Barva	Hnědá
Hustota (při 20°C)	1,15 ± 0,01 g/ml
pH	9,0 ± 1,0
Bod tuhnutí	Okolo -3°C
Obsah Cl iontů	≤ 0,10 %
Na <sub>2</sub> O ekvivalent	≤ 5,0 %
Suchý extrakt (24h, 105°C)	30,5% ± 1,3

CHRYSO Plast 760 je změkčovač - reduktor vody, která odpovídá označení CE. [21]

Dávkování: 0,3 až 1,8 kg na 100 kg cementu. Dávkování 0,6 % přípravku na hmotnost cementu se používá běžně. CHRYSO Plast 760 je zcela mísitelný s vodou. Měl by být přidán do směsi ve stejné době jako záměsova voda, je-li požadována konstantní zpracovatelnost. Optimální dávka může být stanovena pouze vykonáním zkoušek, s přihlédnutím k místním podmínkám ovlivňujícím zpracovatelnost směsi a mechanických vlastností, vyžadovaných od betonu. Aplikace (oblasti aplikace): Všechny druhy cementu (kromě bílých), beton připravený se stabilní zpracovatelností v čase, desky, průmyslové podlahy, aj. [21]

### 6.7. Voda

Voda byla používána pitná, tudíž vyhovuje dle normy ČSN EN 1008 a lze jí použít jako vodu záměsovou viz. Kap. 4.1. Voda do betonu.

### 6.8. Master Fiber 482

Jsou to ocelová vlákna s vysokou pevností v tahu, vyrobená z drátů z tvrdé oceli potažených mosazí a jsou určena pro vyztužení vysoce a ultra vysoce hodnotných betonů. Tvar a velikost umožňují použít velké množství vláken na m<sup>3</sup> betonu, aniž by byla snížena schopnost míchání betonu. Vysoká pevnost v tahu a možnost použít vlákna ve velkém množství dokáže

účinně redukovat trhliny a pomáhá betonu s popraskanou strukturou přenést větší zatížení a zajistit konstrukci pružné vlastnosti. Vlákná jsou vhodná pro zásadité prostředí. [22]

MasterFiber 482 můžeme použít v následujících oblastech: Sloupy, předpjaté nosníkové trámy, tažené trouby, konstrukční výztuhy a mnoho dalších stavebních prefabrikovaných prvků pro lávky pro pěší, stěny, schodiště atd. [22]

Vlákná se přidávají do míchačky po přidání záměsové vody a přísad. Je potřeba směs ještě míchat nejméně dalších 5 minut, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení vláken v betonu. Vlákná se mohou používat v kombinaci se všemi přísadami společnosti BASF. [22]

Tab. 6: Technické údaje Master Fiber 482 [22]

Master Fiber 482 – technické údaje	
Materiál	Mosazí potažené ocelové dráty
Provedení	Monofilní
Ekvivalentní průměr	0,20 mm (0,18 - 0,22 mm)
Délka	13 mm (11,6 - 14,4 mm)
Poměr délky a průměru	65
Konečná pevnost v tahu	$\geq 2200$ MPa
Absorpce vody	Nízká
Odolnost vůči zásadám	Vysoká

Uvedené technické údaje (Tab. 6) jsou výsledkem statistických zjišťování a nepředstavují garantované minimální hodnoty. [22]

Dávkování těchto ocelových vláken s vysokou pevností v tahu se může pohybovat od 60 do více než 150 kg na m<sup>3</sup>. Použití této oceli jako náhrady za primární ocelovou výztuž je možné jen po předchozích projektových kalkulacích. [22]

## 6.9. Aktivátory

Jsou to alkalické roztoky, které rozpouští skelné fáze. Alkalický aktivátor má za úkol spuštění hydratačních procesů a systém uvést do stavu, kdy bude alkalicky aktivovaný materiál tuhnout a tvrdnout. [23]

Ve stavebnictví je jedním z nejběžnějších aktivátorů latentní hydraulicity CaO. Pokud dokáže určité látky aktivovat hydroxid vápenatý, tak se dají tyto materiály označit jako pucolány. Nastávají ovšem i případy, zejména tehdy, pokud látky vykazují SiO<sub>2</sub> a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve stabilních stavech, kdy hydroxid vápenatý nefunguje. U těchto látek hydraulické vlastnosti dokážou vybudit rozpustné sloučeniny alkalických kovů. [23]

Při manipulaci s alkalickými aktivátory je nutná zvýšená opatrnost, jelikož se jedná o žíraviny. Alkalické aktivátory jsou také nejdražší složkou potřebnou pro výrobu alkalicky aktivovaných systémů. [23]

### 6.9.1. Vodní sklo + 50% Θ NaOH

V experimentu byl použit aktivátor ze sodného vodního skla firmy KM+, které bylo upraveno 50 % roztokem hydroxidu sodného (100 g vody/100 g NaOH) tak, aby se výsledný silikátový modul takto vytvořeného aktivátoru blížil hodnotě 2,0. Složení takového aktivátoru je poté 100 ml vodního skla/31 ml 50 % Θ NaOH.

### 6.9.2. Metakřemičitan sodný

Je to bílý krystalický prášek o nepravidelné velikosti částic, který se snadno rozpouští ve vodě. Je nadmíru náchylný k jímání vzdušné vlhkosti. Jeho vlastnosti jsou uvedeny v technickém listu (Tab. 7, Příloha č. 7). Běžně je používán při výrobě průmyslových detergentů, pracích a dezinfekčních prostředků. Ve stavebnictví se používá ve formě roztoků k ochraně stavebních materiálů a zvýšení voděodolnosti těchto materiálů. [25]

Tab. 7: Technické údaje metakřemičitanu disodného [24, 25]

Metakřemičitan disodný – technické údaje	
Obsah Na <sub>2</sub> O	Min. 44 % hmotnosti
Obsah SiO <sub>2</sub>	Min. 44 % hmotnosti
Molární poměr	1
Sypná měrná hmotnost	Min 950 kg/m <sup>3</sup>
pH	12,5

### 6.9.3. Desil Al 1

Jedná se o koloidní roztok s přidaným malým množstvím hliníku (Tab. 8), jenž se liší ve složení a vlastnostech od klasických koloidních roztoků alkalických silikátů (vodních skel). Tento koloidní roztok má strukturu, která se podobá struktuře zeolitů. Atomy hliníku zde vytváří záporný lokální náboj, který poutá sodný iont mnohem pevněji, čímž je odlišný od klasických vodních skel. Má také snížený koagulační práh a charakteristiky pevnosti a pružnosti jsou jiné ve vzniklých pojivových soustavách při vyšších teplotách. [25, 26]

Používáme jej jako slévárenské pojivo, které je určeno k výrobě forem a jader, dále při zpracování odpadů, při výrobě detergentů a čisticích prostředků a při výrobě tepelně izolačních materiálů. Dle požadavků zákazníka je možné upravit hodnotu koagulačního prahu, hodnotu hustoty a případně i viskozity. [25, 26]

Tab. 8: Technické údaje Desil Al [25, 26]

Desil Al – technické údaje	
Obsah Al	Min. 0,1 – 2,0 % hmotnosti
Obsah Na <sub>2</sub> O	Min. 15 % hmotnosti
Obsah SiO <sub>2</sub>	Min. 31 – 45 % hmotnosti
Molární poměr SiO <sub>2</sub> / Na <sub>2</sub> O	1,6 – 2,2
Hustota	1470 – 1570 kg/m <sup>3</sup>

## 6.10. Zpomalovač Lentan VZ 31

Lentan VZ 31 se používá na zpomalení počátku tuhnutí betonů a malt, pro omezení prudkého vývinu hydratačního tepla, pro betonáže masivních konstrukcí a také pro prodloužení doby zpracovatelnosti betonu. [27]

Lentan VZ 31 ovlivňuje v cementu reakci C<sub>3</sub>A, čímž dojde ke zpomalení hydratace cementu a sníží se vývoj hydratačního tepla v betonu. Množství alkálií (Tab. 9), přísadou vnesené do betonu, vyjádřené jako Na<sub>2</sub>O ekvivalent nepřesahuje 12 % hmotnosti. [27]

Na betonárně se doporučuje přísadu přidat společně se záměsovou vodou popř. dodatečně do hotového betonu. Lze jej také zamíchat přímo na staveništi bezprostředně před vyprázdněním automixu. Vždy je nutné dodržet minimální dobu míchání. V případě přidání v betonárně 1 min. (dle intenzity míchacího jádra) a v případě zamíchání v automíchači 5 až 8 min. (dle množství betonu). Při současném použití přísady od jiného výrobce je nutno odzkoušet jejich vzájemnou snášenlivost. [27]

Tab. 9: Technické údaje Lentan VZ 31 [27]

Lentan VZ 31 – technické údaje	
Vzhled	Nažloutlá tekutina
Objemová hmotnost (při + 20°C)	1,24 ± 0,03 g/cm <sup>3</sup>
Obsah chloridů	Pod 0,1 % objemových
Obsah alkálií (ekvivalent Na <sub>2</sub> O)	< 0,1 % objemových

## 7. Postupy použitých zkoušek

V této kapitole, jsou popsány postupy zkoušek, které byly použity při ověřování vlastností alkalicky aktivovaného vysokopevnostního kompozitu.

### 7.1. Síťový rozbor

Tato zkouška byla provedena během přípravy materiálů pro výrobu kompozitu. Bylo potřeba separovat částčky pod 1 mm z čediče frakce 0/4, tak abychom dostali frakci 1/4, která



bude využívána jako hrubší kamenivo pro vysokopevnostní kompozit. Rovněž byl proveden síťový rozbor pro zjištění křivky zrnitosti použité frakce čediče.

Podstatou zkoušky je roztržení materiálu pomocí sady sít na několik frakcí. Zkušební zařízení musí být vyhovující podle normy ČSN EN 932-5. K této zkoušce jsou potřebná zkušební síta vyhovující normě ČSN EN 933-2, pevně lícující víko a dno sady sít, váhy, nádoby, kartáče, štětce a prosévací přístroj. Postupuje se tak, že sloupcem sít je otrásáno ručně nebo mechanicky. Pokud je k dispozici mechanický prosévací přístroj, nechá se zkoušený materiál prosévat 30 minut. Po dokončení prosévání se přikročí k vážení zůstatků na jednotlivých sítích, začíná se od největšího, a zaznamenávají se hmotnosti materiálu, který na jednotlivých sítích zůstane. Materiál zbylý na dně se zváží a označí jako P. Pokud se součet hmotností zůstatků na sítích a materiálu zbylého na dně liší o více než 1 % od hmotnosti původní navážky, která byla do prosévacího stroje vložena na začátku, je nutné zkoušku opakovat. Po zvážení jednotlivých zůstatků, je proveden výpočet procentuálního propadu jednotlivými sítí a sestavena křivka zrnitosti kameniva. [28]

## **7.2. Výroba a ošetřování zkušebních těles**

Na výrobu betonové směsi byla použita maloobjemová laboratorní míchačka pro zkoušení cementů a malt a také laboratorní míchačka pro přípravu betonů, která sloužila zejména pro přípravu závěrečné směsi (záměs o velkém objemu). Při přípravě směsí, jak v maloobjemové tak ve velkoobjemové míchačce, bylo vždy postupováno stejným způsobem.

Nejprve bylo do míchacího zařízení vloženo plnivo s trochou vody (dojde k promíchání různých plniv a k jejich navlhčení), následně, asi po cca minutě byla přidána pojiva. Poté byla směs míchána tak dlouho, dokud jednotlivé složky nebyly ve směsi rovnoměrně rozprostřeny. Po zhruba 1 minutě míchání byla za stálého míchání přidávána voda společně se zpomalovačem tuhnutí. Následovalo důkladné promíchání vzniklé směsi a přidání plastifikátoru Master Glenium ACE 446. Následně se celá směs nechala promíchat, dokud nezačal přidávaný plastifikátor působit. Následně byly přidávány drátky a celou směs byla následně důkladně promíchávána alespoň po dobu 3 minut.

V první části výzkumu následovalo ukládání do forem (část poměr cementu a vysokopecní strusky v kompozitech).

Ve druhé části výzkumu byl v této fázi ještě přidáván aktivátor kvůli alkalické aktivaci strusky přítomné ve směsi. Aktivátory se lišily a byly přidávány v jiných časech míchání.

Přesněji je doba přidání aktivátoru vždy uvedena u jednotlivých záměsů v Kap. 10. Při přípravě závěrečné směsi byl aktivátor přidáván na konci míchání s malým množstvím vody. Promíchání aktivátoru se vzniklou směsí bylo po dobu nejméně 10 sekund.

Po míchání následovalo plnění připravených forem, kde byly vnitřní stěny opatřeny tenkou vrstvou separačního prostředku, aby bylo zabráněno přilnutí betonu k formě. Jako další krok je naplňování a zhutňování zkušebních těles. Zhutňování probíhalo ve dvou vrstvách, aby bylo dosaženo náležitého zhutnění. Z betonu by především měl být odveden přebytečný vzduch. [29]

Zkušební tělesa se ve formách ponechávají nejméně po dobu 16 hodin (ne déle než 3 dny). Po odformování se tělesa uloží do vody o teplotě  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  nebo v do místnosti o stejné teplotě a relativní vlhkosti  $\geq 95\%$ . Ve vodě se nechávají do doby těsně před zkoušením. [29]

### **7.3. Stanovení konzistence s použitím střešacího stolku**

Střešací stůl není primárně určen ke stanovení konzistence čerstvého betonu, bylo jej však použito pro zhodnocení konzistence při přípravě směsí v maloobjemové laboratorní míchačce.

Pomůcky k této zkoušce jsou střešací stůl, kovový kužel, dusadlo, vhodné měřidlo, zednická lžice a špachtle. Střešací stůl se skládá z rámu, tuhé příruby a desky, vodorovné hřídele a zvedací vačky a zvedané tyče, což jsou hlavní části. Kovový kužel je z koroziivzdorné oceli nebo mosazi o rozměrech: vysoký 60 mm a vnitřní průměr 100 mm ve spodní části a vnitřním průměru 70 mm v horní části. Dusadlo má být z tuhé tyče kruhového průřezu z nenasákavého materiálu o průměru 40 mm a délce 200 mm. Měřidlo by mělo být schopno měřit do průměru 300 mm s přesností na 1 mm. Před každou zkouškou je nutné desku a vnitřní povrch kužele navlhčit a otřít do sucha. Kužel se umístí do středu desky střešacího stolku a naplní se směsí ve dvou vrstvách. Každá vrstva je udusána 10 lehkými údery dusadla tak, aby došlo k rovnoměrnému naplnění kužele. Přitom je kužel přitlačován jednou rukou k desce. Po udusání je směs v kuželi zarovnána na výšku horního okraje pomocí špachtle. Poté se kužel zvedne a spustí se střešací stůl. Patnácti nárazy se směs rozlije po desce, frekvence jednoho nárazu je 1 vteřina, a následně je změřen průměr koláče ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí vhodného měřidla. Výsledek měření je aritmetický průměr v mm s přesností na 1 mm. [30]

## 7.4. Pevnost v tlaku zkušebních těles

Podstatou této zkoušky je zatěžování zkušebních těles až do porušení ve zkušební lisu, ten musí být vhodný dle normy EN 12390-4. Maximální síla působící na těleso při jeho rozdrčení se zaznamená a vypočte se pevnost betonu v tlaku. Zkušebními tělesy jsou v první a druhé části výzkumu krychle (100 x 100 x 100) mm a při zjišťování pevností závěrečných směsí jsou použity krychle (150 x 150 x 150) mm. Zkušební tělesa musí vyhovovat předepsaným normám. [31]

Při vkládání těles do lisu se otřou dotykové plochy, aby na nich nezůstala usazená nečistota. Mezi těleso a tlačné desky lisu je možné použít jen přídatné desky a středící bloky. Z povrchu těles je otřena voda a krychle je osazena tak, aby zkušební těleso bylo zatěžováno kolmo na směr ukládání betonu. Nastaví se konstantní rychlost zatěžování od  $0,6 \pm 0,2$  MPa/s. Následně je zkušební krychle zatěžována plynule, bez nárazu, až do porušení. [31]

Pevnost v tlaku je dána následujícím vztahem: (1)

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (1)$$

Kde  $f_c$  je pevnost v tlaku, v MPa (N/mm<sup>2</sup>);

$F$  je maximální zatížení při porušení, v N;

$A_c$  je průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku. [31]

## 7.5. Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles

Podstatou zkoušky je vystavení hranolových zkušebních těles ohybovému momentu. Zatížení je přenášeno prostřednictvím horních zatěžovacích a spodních podpěrných válečků. Největší dosažené zatížení se zaznamenává a vypočte se pevnost v tahu ohybem. Zkušebními tělesy jsou hranoly (100 x 100 x 400) mm. Očistí se a osuší se povrch tělesa, který bude ve styku s válečky. Dotykové plochy lisu se také otřou. Těleso se do lisu umístí centricky a podélnou osou kolmo k podélným osám válečků. Musí se zajistit, aby směr zatěžování byl kolmý ke směru ukládání betonu zkušebního tělesa. [32]

Zatěžování se nemůže zahájit, dokud všechny zatěžovací a podpěrné válečky nespočívají rovnoměrně na zkušebním tělese. Nastaví se konstantní rychlost zatěžování od 0,04 do 0,06 MPa/s pro čtyř bodový ohyb, pro tří bodový ohyb se rychlost přepočítává podle vztahu (2). Zatěžuje se plynule bez nárazu a zatížení se neustále zvyšuje stanovenou konstantní rychlostí  $\pm 1$  %, dokud nedojde k porušení zkušebního tělesa. Zaznamená se maximální

hodnota zatížení a vypočítá se pevnost v ohybu ze vztahu (3). Pevnost v tahu ohybem se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>). [32]

Rychlost zatěžování u tří bodového ohybu: (2)

$$R = \frac{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2 \cdot s}{3 \cdot l} \quad (2)$$

Kde R je požadovaná rychlost zatěžování, v MPa/s;  
s je přírůstek napětí, v MPa/s;  
l je vzdálenost mezi podpěrnými válečky, v mm;  
d<sub>1</sub> a d<sub>2</sub> jsou rozměry příčného řezu tělesa, v mm. [32]

Pevnost v tahu ohybem je dána následujícím vztahem: (3)

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2} \quad (3)$$

Kde f<sub>cf</sub> je pevnost v tahu ohybem, v MPa;  
F je maximální zatížení, v N;  
l je vzdálenost mezi podpěrnými válečky, v mm;  
d<sub>1</sub> a d<sub>2</sub> jsou rozměry příčného řezu tělesa, v mm. [32]

## 7.6. Pevnost v příčném tahu zkušebních těles

Podstata zkoušky je vystavení tlaku zkušebnímu tělesu v úzkém pruhu po jeho délce. Výsledná kolmá tahová síla způsobí porušení tělesa tahem. Na zkoušku je potřeba zkušební lis dle EN 12390-4, vodící přípravek, do kterého se usadí zkušební těleso a roznášecí proužky (dřevovláknitá deska dle EN 316, s objemovou hmotností rovná či větší než 900 kg/m<sup>3</sup> a o daných rozměrech) do správné polohy. Pokud je zkouška prováděna na krychlích či hranolech, mohou se použít válcové ocelové tlačné segmenty. [33]

Z povrchu těles ošetřovaných ve vodě se před vložením do lisu otre voda. Zkušební těleso se umístí do středu zkušební lisu pomocí vodícího přípravku. Ve středové zatěžovací rovině se opatrně na těleso osadí roznášecí proužky, nahoře i dole. Je nutné zajistit centraci zkušebnímu tělesu při zahájení zatěžování. To lze buď vodícím přípravkem, nebo dočasnými podporami. Nastaví se konstantní rychlost zatěžování 0,04 – 0,06 MPa/s. Zatěžuje se plynule

bez nárazu a zvyšuje se zatížení až do porušení zvolenou konstantní rychlostí  $\pm 10 \%$ . Zaznamená se maximálně dosažené zatížení. [33]

Pevnost v příčném tahu se vypočítá ze vztahu: (4)

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (4)$$

Kde  $f_{ct}$  je pevnost v příčném tahu, v MPa;  
 $F$  je maximální zatížení, v N;  
 $L$  je délka dotykové přímky tělesa, v mm;  
 $d$  je zjištěný příčný rozměr tělesa, v mm. [33]

## 7.7. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Zkušebním zařízením této zkoušky jsou posuvná měřidla nebo pravítka a váhy. Posuvná měřítka a pravítka umožňují stanovit rozměry zkušebních těles s přesností 0,5 %. Váhy se použijí pro určení hmotnosti zkušebního tělesa, s přesností 0,1 % hmotnosti. [34]

Dle citované normy ČSN EN 12390-7 se rozlišují tři stavy, při nichž je možno stanovit hmotnost a objem zkušebního tělesa. V experimentu vážení a měření probíhalo těsně před zkoušením vzorků. Tedy po vytažení vzorků z vodní lázně, kde zrály, kromě jednodenních pevností, které byly odzkoušeny po 24 h od vytvoření směsi (ošetřované ve vodní lázni pouze pár hodin po odformování). Vzorky se změřily pomocí digitálního posuvného měřítka, kdy každý rozměr zkušebního tělesa byl měřen třikrát a z těchto tří hodnot byl vypočten aritmetický průměr, jehož hodnota (v mm) byla použita jako reprezentativní pro danou stranu zkušebního tělesa. Hmotnost (v kg) byla určena na digitální váze s přesností 0,5 g. [34]

Objemová hmotnost se vypočítá dle vztahu: (5)

$$D = \frac{m}{V} \quad (5)$$

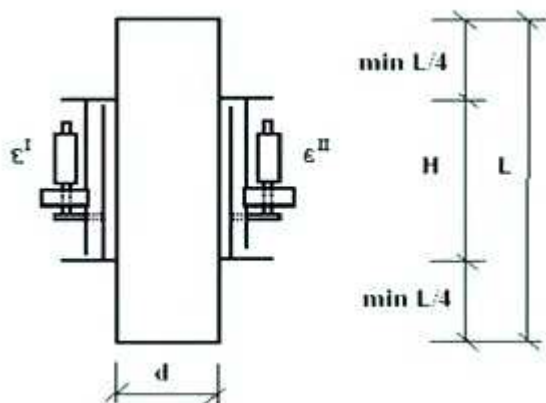
Kde  $D$  je objemová hmotnost zkušebního tělesa, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $m$  je hmotnost zkušebního tělesa, v kg;  
 $V$  je objem zkušebního tělesa, v  $\text{m}^3$ . [34]

## 7.8. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku zkušebních těles

Podstatou zkoušky je vystavení zkušebního tělesa základnímu napětí 0,5 MPa, poté se napětí plynule zvyšuje až do hodnoty 1/3 pevnosti betonu v tlaku. Zaznamenává se poměrné

přetvoření při odpovídajících napětích. Zkoušku je nutné provést na zkušebním lisu, který vyhovuje požadavkům dle normy ČSN EN 12390-4. Zařízení měřící poměrné přetvoření jsou přístroje pro měření změn délky jako například různé tenzometry, které nesmí mít měřící základnu menší než 2/3 průměru zkoušeného tělesa, ale také nesmí být větší než jeho průměr. Musí být pevně připevněn tak, aby měřené body měly stejnou vzdálenost od konců zkušebního tělesa. Přetvoření se musí měřit nejméně na dvou protilehlých stranách. Jako zkušební tělesa byly v práci použity hranoly o rozměrech (100 x 100 x 400) mm. [35]

Statický modul pružnosti se stanoví pomocí referenční metody, kdy je zkušební těleso s osově osazenými přístroji (Obr. 7) vloženo dostředně do zkušebního lisu. Při začátku zkoušky se vyvodí základní napětí  $\sigma_b$  o hodnotě 0,5 MPa, které se udržuje po dobu 1 minuty, následně se zaznamenají naměřené údaje. Napětí se poté plynule zvyšuje, dokud není dosaženo 1/3 pevnosti zkoušeného betonu ( $\sigma_a = f_c/3$ ). Napětí se opět udržuje po dobu 1 minuty a následně se zaznamenají všechny naměřené hodnoty. Tento cyklus se opakuje nejméně dvakrát se stejnou rychlostí zatěžování a napětím po dobu 1 minuty na hodnotách  $\sigma_a$  a  $\sigma_b$ . Po skončení posledního cyklu se vyčká 1 minutu při napětí  $\sigma_b$  a zaznamená se poměrné přetvoření  $\varepsilon_b$ . Následně dochází k zatížení tělesa napětím  $\sigma_a$ , kdy se zaznamená poměrné přetvoření  $\varepsilon_a$ . [35]



Obr. 7: Osazení zkušebních těles měřící soustavou

Statický modul pružnosti v tlaku je dán vztahem: (6)

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (6)$$

Kde  $E_c$  je modul pružnosti v tlaku, v MPa;

$\sigma_a$  je horní zatěžovací napětí, v MPa;

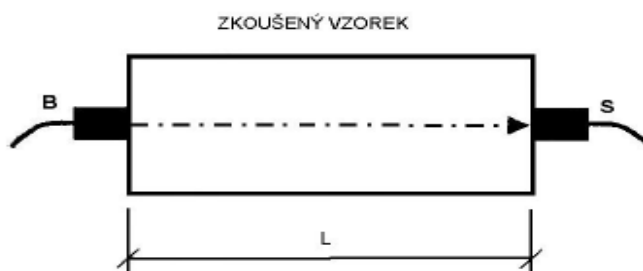
$\sigma_b$  je základní napětí tj. 0,5 MPa;

- $\varepsilon_a$  je průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí;  
 $\varepsilon_b$  je průměrné poměrné přetvoření při dolním zatěžovacím napětí. [35]

## 7.9. Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu

Ultrazvuková impulzová metoda je založena na stanovení rychlosti šíření UZ vlnění v betonu. Ze stanovené rychlosti šíření UZ vlnění je možné určit fyzikálně mechanické vlastnosti na základě odvozených vztahů mezi sledovanými vlastnostmi betonu a rychlostí šíření UZ vlnění. Z měření UZ je možné stanovit rychlost šíření UZ vlnění, dynamický modul pružnosti, pevnost betonu a degradaci betonu (zejména na povrchu). Zařízení a přístroje, které se používají pro stanovení doby průchodu UZ vlnění v betonu, musí odpovídat požadavkům uvedeným v normě ČSN EN 12504-4:2005 kapitola 5. Používané jsou dva typy. První je s obrazovkou, kde se zobrazuje část – čelo impulsů UZ vlnění. Druhý je s automatickým měřením času (digitální indikací). [36]

Vzorky se označí, zváží a změří se jejich rozměry. Po stanovení objemové hmotnosti vzorku proběhne měření doby přechodu UZ impulsu. Měření se provádí na zarovnaných koncích tělesa, které jsou rovnoběžné s podélnou osou vzorku. Sondy se centricky umístí a přitlačí na měřené místo (Obr. 8). Přístroj určí dobu průchodu impulsu (s). Pro stanovení dynamického modulu pružnosti vzorku je potřebné znát i rychlost šíření UZ impulsu (m/s), kterou přístroj rovněž naměřil. Měření rychlosti vlnění se provede na 5 místech na průřezu vzorku a stanoví se průměr těchto hodnot. [36]



Obr. 8: Schéma měření UZ impulsu

Dynamický modul pružnosti se určí ze vztahu: (7)

$$E_{cu} = \rho * v_L^2 * \frac{1}{k^2} \quad (7)$$

- Kde  $E_{cu}$  je dynamický modul pružnosti, v MPa;  
 $\rho$  je objemová hmotnost betonu, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $v_L$  je impulzová rychlost podélného UZ vlnění, v km/s;

k je součinitel rozměrnosti v prostředí. [36]

### 7.10. Stanovení mrazuvzdornosti betonu

Mrazuvzdornost betonu je zkouška střídavého zmrazování a rozmrazování vodou nasycených zkušebních těles. Tělesa určena pro tuto zkoušku byla vybetonována a po 28 dní uložena ve vodě, aby zrála. Zkušební tělesa by měla být ve tvaru trámce čtvercového průřezu. Ke zkoušce se smí použít jen celých zkušebních těles, která nejsou porušena. U zkušebních těles je zjištěna před začátkem zkoušky jejich váha, rozměry a vypočítá se objemová hmotnost dle normy ČSN EN 12390-7. [37]

Pro provedení této zkoušky je potřeba mrazící prostor s regulovatelnou teplotou, kdy zmrazení probíhá do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (nebo  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Vodní lázeň pro rozmrazování zkušebních těles s regulací teploty (automatickou) v rozmezí  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mrazící zařízení by mělo být takových rozměrů, aby zkoušená tělesa zaplňovala nanejvýš třetinu objemu. [37]

Zkouška, kdy dochází ke zmrazování a rozmrazování zkušebních těles probíhá ve zmrazovacích cyklech, při kterých se pohybuje teplota v rozmezí  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zmrazovací cyklus je složen ze 4 hodin zmrazování a 2 hodin rozmrazování. Když dochází k části cyklu rozmrazování, je teplota vody, ve které jsou tělesa uložena, je  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zkušební trávce předtím, než jsou poprvé vloženy do mrazícího prostoru, jsou vyjmuty z vody, povrchově osušeny a zváženy. Posléze jsou podrobeny požadovanému počtu zmrazovacích cyklů po etapách, např. 25 nebo 50 cyklů. Zkouška mrazuvzdornosti se ukončí, pokud jsou tělesa podrobena předepsanému počtu zmrazovacích cyklů a úbytek hmotnosti těles není větší než 5 %. [37]

Zkouška se vyhodnocuje zjištěním úbytku hmotnosti zkoušených trámců v % hmotnosti. Dále se určí pevnosti v tahu a tlaku, a to jak na zmrazovaných tělesech, tak i na porovnávacích tělesech. Součinitel mrazuvzdornosti je poměr hodnoty aritmetického průměru pevnosti zmrazovaných trámců v tahu za ohybu nebo v tlaku, k hodnotě aritmetického průměru pevnosti porovnávacích trámců v tahu za ohybu. Beton je mrazuvzdorný na ten počet cyklů, při kterých součinitel mrazuvzdornosti není menší než 75 %. [37]

Jelikož se jedná o porovnání výsledných pevností v tlaku, tak v práci nejsou pro určení mrazuvzdornosti použity trávce, ale jsou použity krychle.



## 8. Referenční směs

Jako referenční směs byla použita receptura vysokopevnostního betonu (mícháno v TBD), kde byl poměr cementu a strusky v poměru 6/4 (Obr. 11 – 14). Vlastnosti receptury byly v průběhu experimentu ověřeny, složení směsi je uvedeno níže. Bylo namícháno 18 l záměsi, v rámci experimentu byly 3 krychle připraveny bez drátků a do zbylé směsi byly přidány drátky pro zjištění vlivu drátků na konečné pevnosti.

Kamenivo: 80 % čediče (Bílčice)  
20 % drobného křemičitého písku (Provodín)

Příměsi: 8 % Mikrosilika

Přísady: 4 % Plastifikátor Glenium Ace 446

Suroviny	Množství na 1 l
Cement	0,667 kg
Struska	0,444 kg
Mikrosilika	0,053 kg
Křemičitý písek	0,222 kg
Čedič 1-4	1,044 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,041 kg
Zpomalovač (Master Set R431)	0,00056 kg
Voda	0,217 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0615 kg

### 8.1. Naměřené hodnoty

Tabulka 10: Pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku referenční směsi

Pevnost v tahu za ohybu - Směs s drátky							
28 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
TUVBD 28	101,00	100,00	400,00	31,80	18,9	9,912	2450

90 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Tah (ohyb)		Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]		
TUVBD 90	100,00	90,00	400,00	52,20	38,7	10,214	2840

Pevnost v tlaku - Směs bez drátků							
7 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
UVB 7	100,00	100,00	100,00	2,493	1062,80	106,3	2490

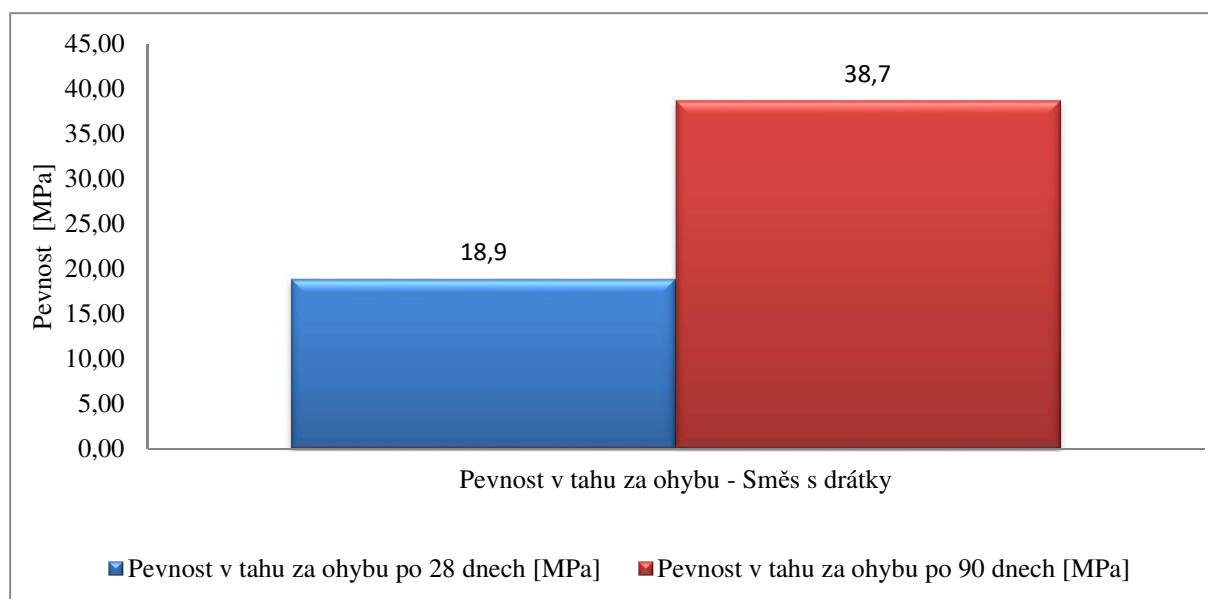
28 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
UVB 28	100,00	100,00	100,00	2,479	1304,20	130,4	2480

90 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
UVB 90	100,00	100,00	100,00	2,499	1458,60	145,9	2500

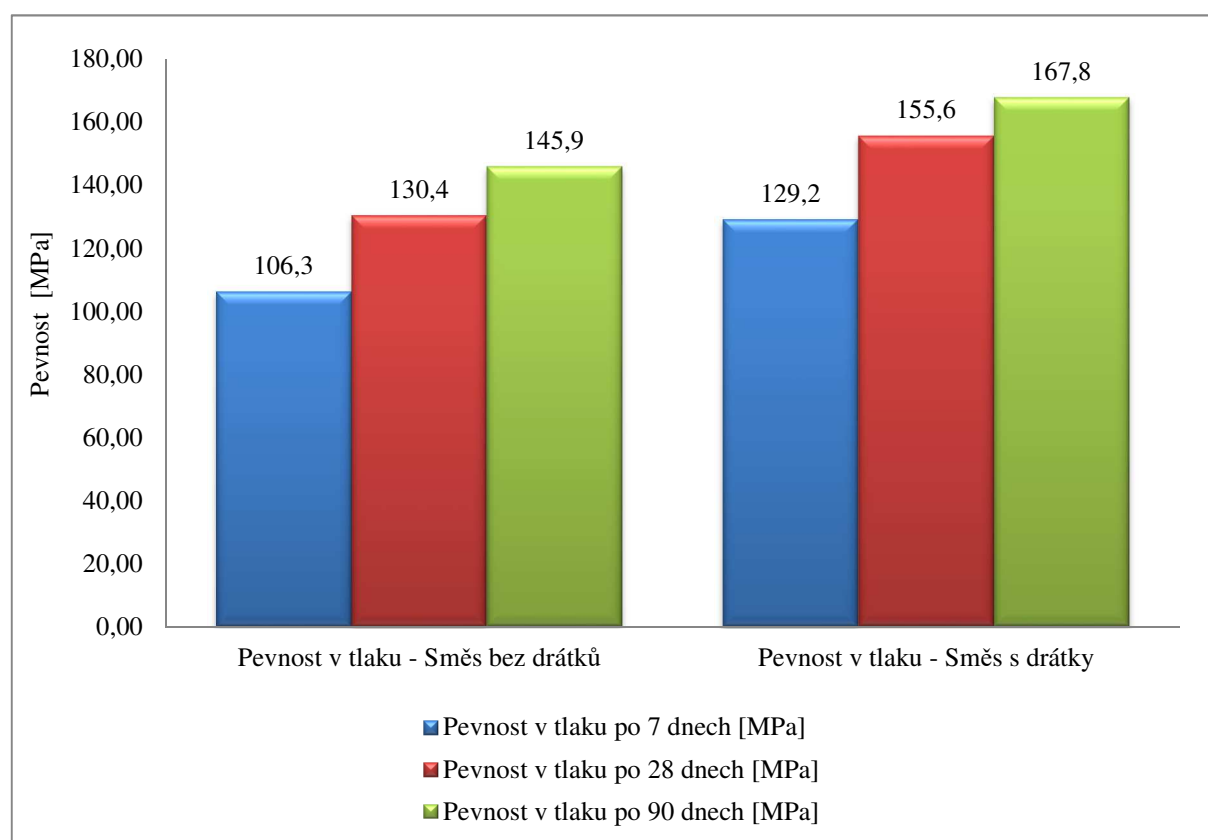
Pevnost v tlaku - Směs s drátky							
7 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
UVBD 7.1	101,00	100,00	100,00	2,565	1294,80	129,5	2540
UVBD 7.2	100,00	100,00	100,00	2,572	1288,90	128,9	2570
Průměr	100,50	100,00	100,00	2,57	1291,85	129,2	2560

28 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
UVBD 28.1	100,00	100,00	100,00	2,589	1604,60	160,5	2590
UVBD 28.2	100,00	100,00	100,00	2,566	1507,30	150,7	2570
Průměr	100,00	100,00	100,00	2,58	1555,95	155,6	2580

90 denní pevnost							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
UVBD 90.1	100,00	100,00	100,00	2,555	1667,10	166,7	2550
UVBD 90.2	100,00	100,00	100,00	2,550	1689,20	168,9	2550
Průměr	100,00	100,00	100,00	2,55	1678,15	167,8	2550



Obr. 9: Grafické znázornění pevnosti v tahu za ohybu referenční směsi



Obr. 10: Grafické znázornění pevnosti v tlaku referenční směsi



Obr. 11: Trámec referenční směsi podrobený zkoušce pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 12: Betonové krychle referenční směsi vytažené z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku



Obr. 13: Betonová krychle referenční směsi bezprostředně po provedení zkoušky pevnosti v tlaku v lisu



Obr. 14: Betonová krychle referenční směsi po provedení zkoušky pevnosti v tlaku vyjmutá z lisu



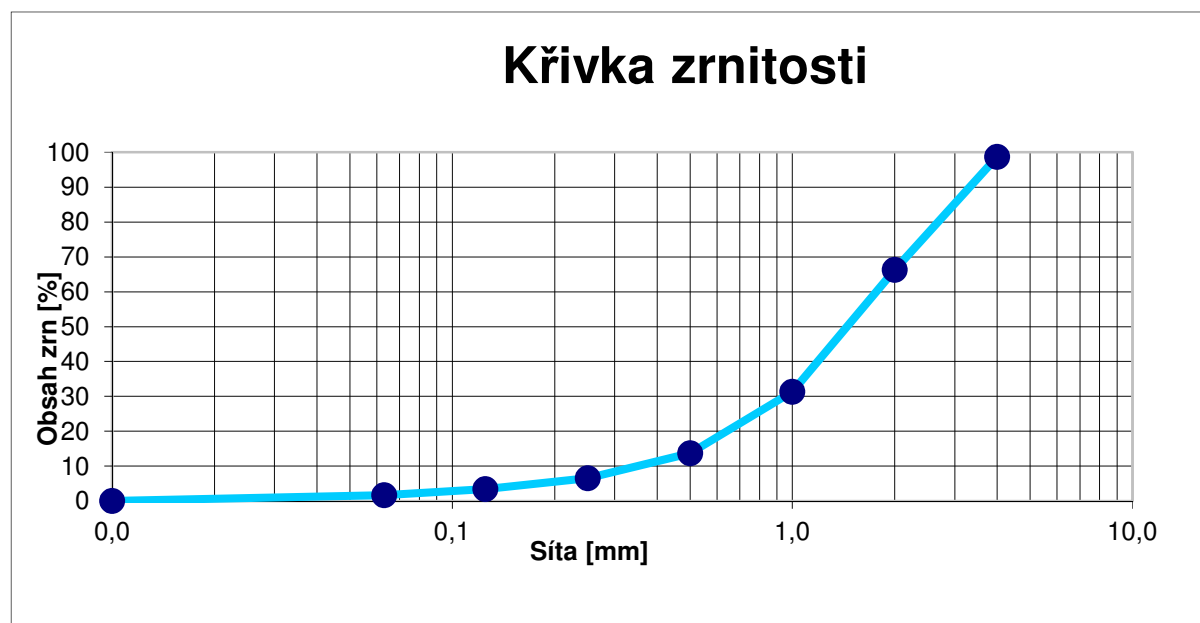
Referenční receptura po 28 dnech zrání dosahuje pevnosti v tlaku bez drátků kolem 130 MPa a směs s drátky cca 155 MPa (Obr. 9 – 10). Je tedy zřejmé, že drátky mají pozitivní vliv na nárůst pevností v tlaku. Pevnost v tahu za ohybu u směsi s drátky činila po 28 dnech zrání cca 19 MPa, po 90 dnech zrání se blížila hodnotě 40 MPa.

## 9. Zkouška zrnitosti

Navážka 1000 g, prosévání po dobu 15 min. Tato zkouška byla provedena pro zjištění křivky zrnitosti (Obr. 15) používaného kameniva čedič frakce 1/4 dle tabulky (Tab. 11)

Tab. 11: Výsledné zůstatky na sítích

Síto [mm]	g
4	13,0
2	324,3
1	349,6
0,5	176,3
0,25	71,4
0,125	31,3
0,063	17,6
Dno	16,5
$\Sigma$	1000,0



Obr. 15: Křivka zrnitosti čediče frakce 1/4

## 10. Poměr cementu a strusky

V následujících krocích bylo snahou změnit poměr strusky a cementu tak, aby bylo dosaženo co největších pevností při co nejvyšším množství vysokopecní strusky oproti cementu (Obr. 16 – 20). Použité poměry (cement/struska) jsou: 7/3, 6/4, 5/5, 4/6 a 3/7. U poměru (cement/struska) 3/7 byla při stanovení pevnosti v tlaku pozorována přítomnost měkkých bílých shluků, pravděpodobně se jednalo o nezhydratované shluky strusky v kompozitu.

### 10.1. 1. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, připravena pro srovnání vlastností kompozitu připraveného v malém objemu (3,3l a 1,1l).

Suroviny	Množství na 3,3 l	Množství na 1,1 l
6 Cement	2,2011 kg	0,7337 kg
4 Struska	1,4652 kg	0,4884 kg
Mikrosilika	0,1749 kg	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,7326 kg	0,2442 kg
Čedič 1-4	3,4452 kg	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,1353 kg	0,0451 kg
Voda	1,0026 kg	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,2030 kg	0,0677 kg

Tab. 12: Pevnost v tlaku 1. záměsi 3,3 l po 7 dnech

1. Záměs na 3,3 l po 7 dnech							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	102,00	101,00	2,438	868,50	84,5	2370
2	99,00	102,00	101,00	2,435	886,00	86,0	2390
3	100,00	101,00	101,00	2,430	901,40	89,0	2380
<b>Průměr</b>	99,67	101,67	101,00	2,434	885,30 kN	86,5 MPa	2380

Tab. 13: Pevnost v tlaku 1. záměsi 1,1 l po 7 dnech

1. Záměs na 1,1 l po 7 dnech							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	101,00	100,00	103,00	2,535	1220,10	118,5	2440

Záměs o objemu 3,3 l byla připravena v plastovém kbelíku pomocí ručního míchadla. Směs bylo obtížné v dané nádobě zamíchat, jelikož ručním míchadlem nelze zajistit důkladné promíchání, což se následně odrazilo i na konečných pevnostech a také na objemové hmotnosti směsi. Další míchání proto bylo za účelem dostatečného promísení směsi prováděno v maloobjemových laboratorních míchačkách, kde byl míchán objem 1,1 l.

## 10.2. 2. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 3/7.

Suroviny	Množství na 3,3 l	Množství na 1,1 l
3 Cement	1,0989 kg	0,3663 kg
7 Struska	2,5674 kg	0,8558 kg
Mikrosilika	0,1749 kg	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,7326 kg	0,2442 kg
Čedič 1-4	3,4452 kg	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,1353 kg	0,0451 kg
Voda	1,0026 kg	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,2030 kg	0,0677 kg

Tab 14: Pevnost v tlaku 2. záměsi 3,3 l po 7 dnech

2. Záměs na 3,3 l po 7 dnech							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	100,00	2,296	399,00	40,0	2300
2	101,00	100,00	100,00	2,376	413,60	41,5	2350
3	90,00	101,00	100,00	2,381	387,30	38,5	2620
<b>Průměr</b>	97,00	100,33	100,00	2,351	399,97 kN	40,0 MPa	2420

Tab 15: Pevnost v tlaku 2. záměsi 1,1l po 7 dnech

2. Záměs na 1,1 l po 7 dnech							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	104,00	2,486	1002,90	96,4	2390



Záměs o objemu 3,3 l byla připravena v plastovém kbelíku pomocí ručního míchadla. Směs bylo obtížné v dané nádobě zamíchat, jelikož ručním míchadlem nelze zajistit důkladné promíchání, což se následně odrazilo i na konečných pevnostech. Nehomogenita takto připravené směsi se projevila jak nízkými pevnostmi, tak také velmi rozdílnými objemovými hmotnostmi jednotlivých těles, kde rozdíly činily až  $320 \text{ kg/m}^3$  viz Tab. 14 a Tab 15. Další míchání tedy bylo za účelem dostatečného promísení směsi prováděno v maloobjemových laboratorních míchačkách, kde byl míchán objem 1,1 l.

### 10.3. 3. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 5/5.

Suroviny	Množství na 1,1 l
5 Cement	0,611 kg
5 Struska	0,611 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Tab 16: Pevnost v tlaku 3. záměsi po 7 dnech

3. Záměs na 1,1 l po 7 dnech							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [ $\text{kg/m}^3$ ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	104,00	2,493	1095,40	105,3	2400

Z výsledků je zřejmé, že receptura obsahující stejné množství strusky a cementu dosáhla pevnosti v tlaku 105 MPa, což je méně, než pevnost referenční směsi.

### 10.4. 4. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 4/6.

Suroviny	Množství na 1,1 l
4 Cement	0,4884 kg
6 Struska	0,7337 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Tab 17: Pevnost v tlaku 4. záměsi po 7 dnech

4. Záměs na 1,1 l po 7 dnech							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	104,00	2,509	1073,60	103,2	2410

Z výsledků je zřejmé, že receptura obsahující strusku a cement v poměru 6/4 dosáhla pevnosti v tlaku 103 MPa, což je méně, než pevnost referenční směsi.

### 10.5. 5. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 7/3 a v této směsi je tedy největší množství cementu k množství strusky ze všech směsí. Jedná se o recepturu, která byla připravena za účelem ověření, jak se bude vyvíjet pevnost kompozitu v případě opačném, tedy v případě, že se množství cementu zvýší na úkor množství strusky.

Suroviny	Množství na 1,1 l
7 Cement	0,8558 kg
3 Struska	0,3663 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Tab 18: Pevnost v tlaku 5. záměsi po 7 dnech

5. Záměs na 1,1 l po 7 dnech

Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	101,00	104,00	2,534	1232,30	117,3	2410



Obr. 16: 1.- 4. záměs před stanovením pevnosti v tlaku po 7 dnech



Obr. 17: Vzorek 1. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech



Obr. 18: Vzorek 2. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech



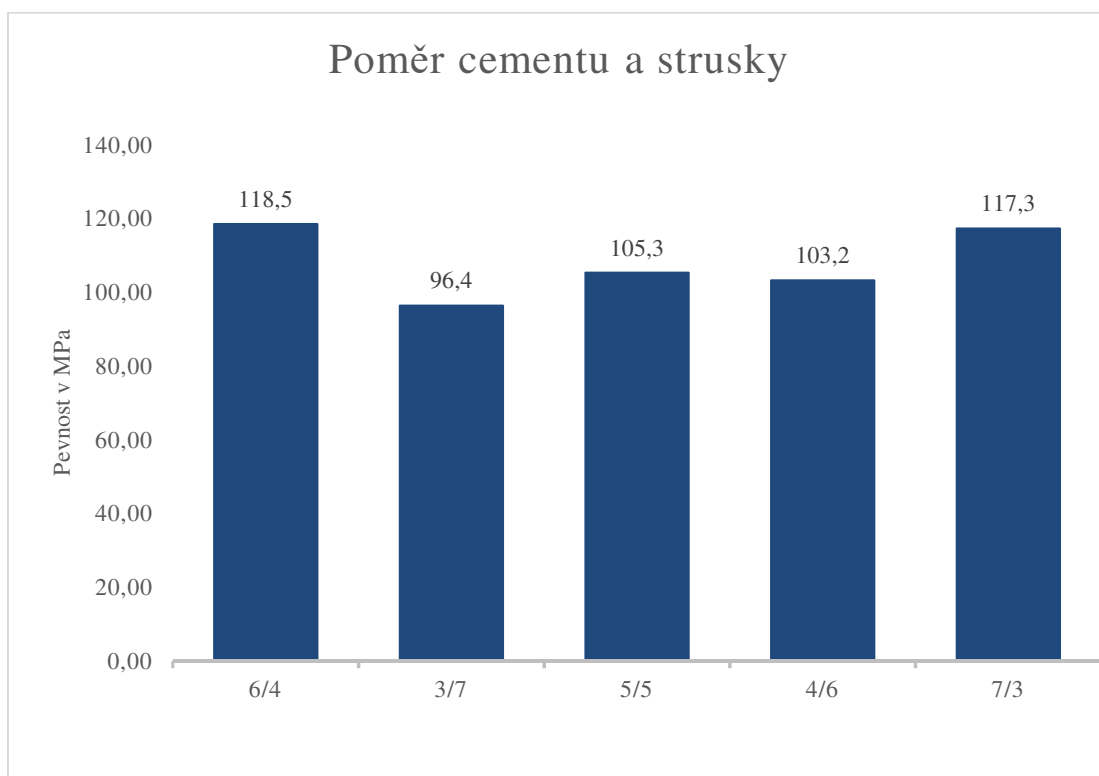
Obr. 19: Vzorek 3. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech



Obr. 20: Vzorek 4. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech

Z výsledků je zřejmé, že receptura obsahující cement a strusku v poměru 7/3 dosáhla pevnosti v tlaku 117 MPa, což je méně, než pevnost referenční směsi a dá se tedy předpokládat, že referenční receptura je z hlediska poměru cementu a strusky navržena optimálně (Tab. 12 – 18).

## 10.6. Shrnutí



Obr. 21: Grafické znázornění pevnosti v tlaku u různých poměrů cementu a strusky

Z grafického znázornění (Obr. 21) je patrné, že referenční záměs má optimální poměr strusky a cementu. Mezi poměry (6/4) a (5/5) je rozdíl 13,2 MPa, což je docela výrazné. U směsi (3/7) s nejvyšším množstvím strusky bylo dosaženo pevnosti pouze kolem 96 MPa. Pro vysokopevnostní kompozity, jejichž příprava je cílem experimentu, jsou tyto pevnosti ovšem dostačující.

## 11. Vliv aktivátorů

V další fázi bylo zkoumáno možné použití aktivátorů, jež by vnesly do kompozitu alkalické prostředí pro optimální alkalickou aktivaci vysokopevnostní strusky. Z hlediska ASR by na základě zkušeností s alkalicky aktivovanými systémy [40] nemělo by být použití alkálií do těchto připravených systémů problematické jak z hlediska použitých aktivátorů, a jejich množství a obsahu alkálií ve vztahu k pojivové složce, tak také z hlediska použitého typu kameniva. Nejprve bylo do směsí přidáváno upravené vodní sklo se silikátovým modulem 2 dle [38] v množstvích, jež odpovídaly 6 - 10 % vnášeného  $\text{Na}_2\text{O}$  oproti strusce (konkrétně 4,5 %). Jelikož toto množství výrazně ovlivňovalo počátek tuhnutí směsi vlivem přítomnosti cementu, bylo snahou vnést aktivátor do směsi až v samém konci přípravy. Jelikož se ani tento postup neuplatnil, bylo následně množství vnášených alkálií redukováno dle [39] na 1 %. V rámci experimentu bylo rovněž testováno možné použití dalších aktivátorů, a to roztoku  $\text{NaOH}$ , Desil Al a metakřemičitanu sodného.

### 11.1. 6. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného (Obr. 22 – 24).

Suroviny	Množství na 1,1 l
6 Cement	0,7337 kg
4 Struska	0,4884 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% $\text{NaOH}$ )	73 ml
Voda	0,2671 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg



Aktivátor, voda a plastifikátor byly přidány do záměsi najednou.



Obr. 22: 6. Záměs po dokončení míchání, před ukládáním do formy

Tab. 19: Pevnost v tlaku 6. záměsi po 7 dnech

6. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	102,00	100,00	2,342	758,20	74,3	2300



Obr. 23: Betonová krychle z 6. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku



Obr. 24: Vzorek 6. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Receptura 6. záměsi byla dobře zpracovatelná, ale nebyla tak ztekucená jako směsi 1 - 4, což bylo způsobeno použitím aktivátoru, který v betonech funguje jako urychlovač tuhnutí. Zlepšení zpracovatelnosti bylo dosaženo zvýšením vodního součinitele, toto však mělo následně vliv na konečné pevnosti (Tab. 19).

## 11.2. 7. Záměs

Tato záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 5/5, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného.

Suroviny	Množství na 1,1 l
5 Cement	0,611 kg
5 Struska	0,611 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% $\Theta$ NaOH)	92 ml
Voda	0,2019 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Aktivátor, voda a plastifikátor byly přidány do záměsi najednou. Výsledná záměs byla sypká a nedala se použít. Proto nebyla ani ukládána do formy.



### 11.3. 8. Záměs

Tato směs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 4/6, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného.

Suroviny	Množství na 1,1 l
4 Cement	0,4884 kg
6 Struska	0,7337 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% Θ NaOH)	110 ml
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Aktivátor, voda a plastifikátor byly přidány do záměsi najednou. Směs byla velmi sypká, ale pro získání orientačních výsledků byla uložena do formy. Záměs číslo 8 byla pro další experimenty vyhodnocena jako nevhodná, směs byla po odformování mezerovitá a proto bylo zřejmé, že neobstojí ani při zkoušce pevnosti v tlaku po sedmi dnech zrání, jak je vidět v tabulce (Tab. 20).

Tab. 20: Pevnost v tlaku 8. záměsi po 7 dnech

8. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	102,00	100,00	1,800	34,50	3,4	1760

### 11.4. 9. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 3/7, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného (Obr. 26 – 27).

Suroviny	Množství na 1,1 l
3 Cement	0,3663 kg
7 Struska	0,8558 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% Θ NaOH)	128 ml
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

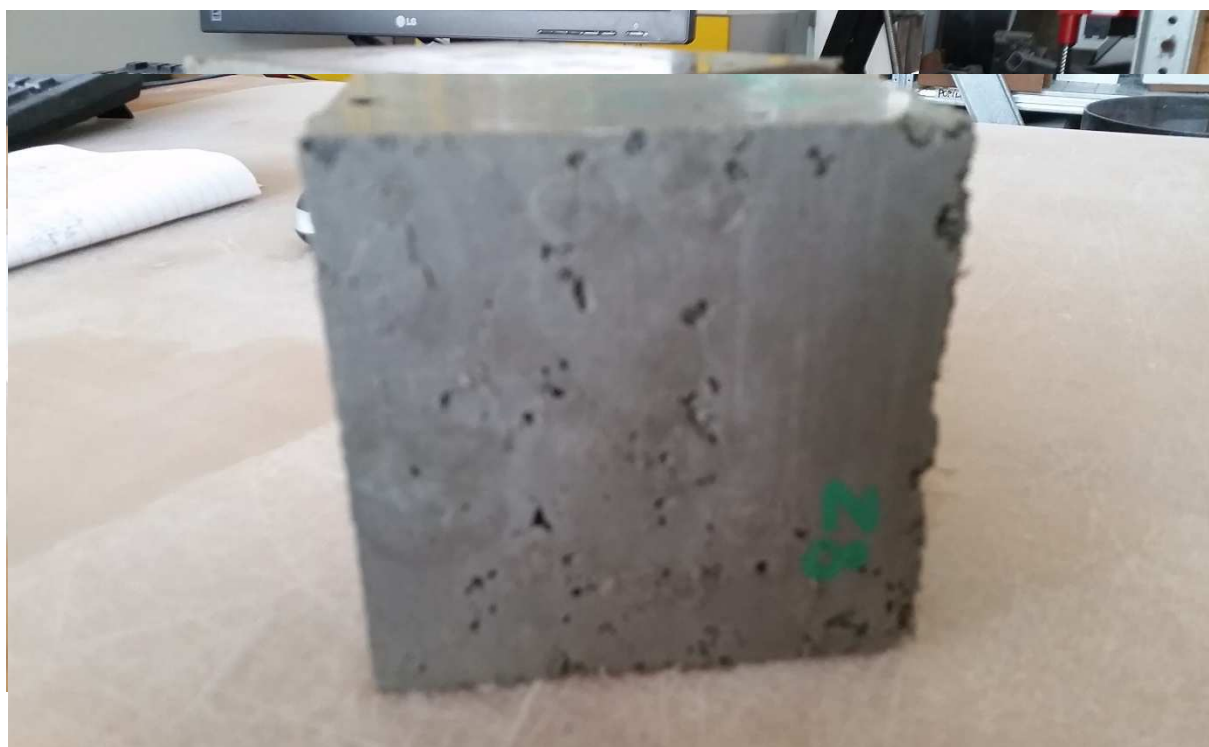
Směs zamíchána stejně jako 6. záměs s tím rozdílem, že aktivátor se přidal až na konci míchání a směs se následně nechala promíchat už jen po dobu 10 sekund.



Obr. 25: 9. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Tab. 21: Pevnost v tlaku 9. záměsi po 7 dnech

9. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	101,00	100,00	2,290	449,70	44,5	2270



Obr. 26: Betonová krychle z 9. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku



Obr. 27: Vzorek 9. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Záměs číslo 9 byla po zamíchání uložena do formy, jelikož byla shledána jako vyhovující, i když konzistence směsi byla tužší, než referenční receptura a proto byla hůře

zhutnitelná (Obr. 25). To se projevilo i na výsledných pevnostech po sedmi dnech, které byly cca o 50 % nižší (Tab. 21).

#### 11.5. 10. Záměs

Tato záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 3/7, jako aktivátor byl použit Metakřemičitan disodný.

Suroviny	Množství na 1,1 l
3 Cement	0,3663 kg
7 Struska	0,8558 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Metakřemičitan disodný	0,169 kg
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Směs byla připravena jako 6. záměs s tím rozdílem, že aktivátor se přidal na konci přípravy směsi a poté byla směs promíchána ještě po dobu 10 sekund. Vzorek číslo 10 byl po umíchání i tak velice suchý a směs nebyla z tohoto důvodu ani ukládána do formy.

#### 11.6. 11. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen byla provedena celková eliminace cementu, jako aktivátor byl použit Metakřemičitan disodný.

Suroviny	Množství na 1,1 l
Struska	1,2222 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Metakřemičitan disodný	0,169 kg
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

V této záměsi bylo zcela eliminováno použití cementu. Ovšem používaný plastifikátor se při přípravě záměsi pravděpodobně vlivem absence cementu neuplatnil a směs byla sypká. Aktivátor přidán až na konci míchání, kdy následně směs byla míchána jen po dobu 10 s. Směs byla po zamíchání sypká, vzorek byl po odformování velmi pórovitý, čemuž odpovídá i výsledná pevnost (Tab. 22).

Tab. 22: Pevnost v tlaku 11. záměsi po 7 dnech

11. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	102,00	100,00	1,998	91,20	8,9	1960

## 11.7. 12. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 3/7, jako aktivátor byl použit Desil Al.

Suroviny	Množství na 1,1 l
3 Cement	0,3663 kg
7 Struska	0,8558 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Desil Al	128 ml
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

U této směsi bylo vyzkoušeno přidání vodního skla na jiné bázi, jelikož vodní sklo působí jako urychlovač tuhnutí cementu, čímž docházelo k okamžité reakci těchto složek po přidání aktivátoru. Desil Al ve směsi i přes jeho jinou bázi působil jako urychlovač tuhnutí cementu. Směs byla po zamíchání suchá a nebyl důvod ukládat tuto směs do forem pro ověření pevnosti.

### 11.8. 13. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, jen byla provedena celková eliminace cementu, jako aktivátor byl použit Metakřemičitan disodný.

Suroviny	Množství na 1,1 l
Struska	1,2222 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Chrysoplast 760)	0,0451 kg
Metakřemičitan disodný	0,241 kg
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

U této směsi byl použit jiný superplastifikátor, který byl ověřen v rámci jiné diplomové práce věnované alkalicky aktivovaným betonům a byl úspěšný při použití se struskou. Ovšem v této směsi se tento plastifikátor neuplatnil. Směs se po přidání plastifikátoru neztekutíla. Na konci míchání směsi byl použit metakřemičitan disodný jako aktivátor. Jelikož byla směs po zamíchání sypká, po odformování byla dle očekávání velmi pórovitá, což opět mělo značný vliv na pevnosti, což je zřejmé z Tab. 23.

Tab. 23: Pevnost v tlaku 13. záměsi po 7 dnech

13. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	101,00	1,921	58,40	5,8	1900

### 11.9. 14. Záměs

Záměs připravena stejně jako referenční směs, liší se v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 3/7, jako aktivátor byl použit 50 % roztok hydroxidu sodného.

Suroviny	Množství na 1,1 l
3 Cement	0,3663 kg
7 Struska	0,8558 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (50% Θ NaOH)	21 ml
Voda	0,2387 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Aktivátor byl přidán v malém množství po ztekucení míchané směsi. Po přidání 50 % Θ NaOH byla směs tužší, ale nebyl zjevný nedostatek vody jako u některých předchozích směsí. Tato směs nebyla tak pórovitá jako předchozí směsi, nicméně pevnost směsi byla po 7 dnech minimální (Tab. 24).

Tab. 24: Pevnost v tlaku 14. záměsi po 7 dnech

14. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	102,00	2,006	16,80	1,6	1970

#### 11.10. 15. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky (3/7), aktivátor byl použit stejný jako v předchozí záměsi (Obr. 29 – 30).

Suroviny	Množství na 1,1 l
3 Cement	0,3663 kg
7 Struska	0,8558 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% Θ NaOH)	10 ml
Voda	0,2587 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg



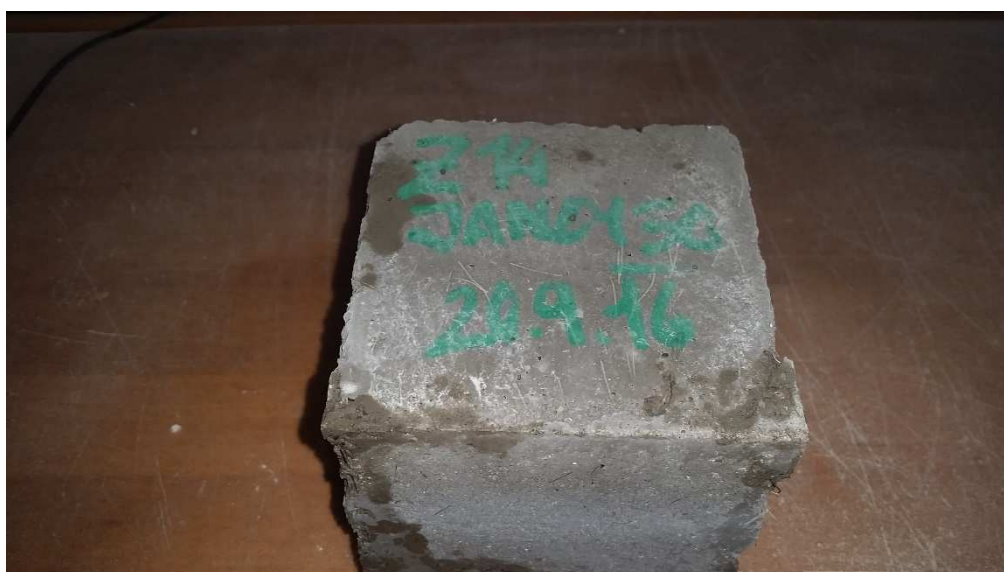
Do této směsi byl na konci přípravy přidán aktivátor s 20 g vody a pokračovalo se v míchání po dobu 10 s. Směs po dokončení byla dobře zpracovatelná (Obr. 28), ale velmi rychle po dokončení míchání tuhla.



Obr. 28: 15. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Tab. 25: Pevnost v tlaku 15. záměsi po 7 dnech

15. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	102,00	2,418	738,60	72,4	2370



Obr. 29: Betonová krychle z 15. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku





Obr. 30: Vzorek 15. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Při návrhu této záměsi bylo přistoupeno ke zvětšení hmotnosti vody o 20 g. Toto řešení se ukázalo jako správné, toto množství vody bylo přidáno společně s aktivátorem. Pevnosti zaznamenaly enormní nárůst oproti předešlým směsím (Tab. 25), kde byl přidáván pouze aktivátor. Vzhledem k absenci zpomalovače tuhnutí došlo po pár minutách od dokončení míchání k započetí tuhnutí kompozitu.

### 11.11. 16. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 3/7, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného (Obr. 32 – 33).

Suroviny	Množství na 1,1 l
3 Cement	0,3663 kg
7 Struska	0,8558 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% $\Theta$ NaOH)	10 ml
Zpomalovač (Lentan VZ 31)	0,001 kg
Voda	0,2587 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

U této záměsi byl použit zpomalovač tuhnutí, aby ověřil svou hypotézu z předešlé směsi. Zpomalovač byl při míchání do směsi přidán zároveň s vodou a superplastifikátorem. Na závěr byl dodán aktivátor s 20 g vody. Po dokončení míchání byl výsledný kompozit ztekucen, tak jako počáteční směsi (Obr. 31).



Obr. 31: 16. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Tab. 26: Pevnost v tlaku 16. záměsi po 7 dnech

16. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	101,00	101,00	2,415	846,80	83,0	2370



Obr. 32: Betonová krychle z 16. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku



Obr. 33: Vzorek 16. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Při přípravě této směsi byl použit zpomalovač, který prodloužil dobu zpracování kompozitu, a nedocházelo tak k tunutí během ukládání směsi do formy. Směs byla ztekucená a při vibrování byl ze směsi odstraněn přebytečný vzduch. Pevnosti také vzrostly viz. Tab. 26.

#### 11.12. 17. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 4/6, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného (Obr. 35 – 36).

Suroviny	Množství na 1,1 l
4 Cement	0,4884 kg
6 Struska	0,7337 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% $\Theta$ NaOH)	10 ml
Zpomalovač (Lentan VZ 31)	0,001 kg
Voda	0,2587 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

Jelikož se receptura minulé záměsi osvědčila a došlo k uplatnění aktivátoru, byl v této směsi pouze změněn poměr cementu a strusky. Předpokladem bylo zvýšení pevnosti oproti patnácté záměsi, i její konzistence byla lepší, což je zřejmé z Obr. 34.



Obr. 34: 17. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Tab. 27: Pevnost v tlaku 17. záměsi po 7 dnech

17. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	102,00	2,424	876,60	87,5	2380



Obr. 35: Betonová krychle ze 17. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku





Obr. 36: Vzorek 17. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Porovnání 16. a 17. záměsi ukazuje, že vlivem zvýšení podílu cementu ve směsi došlo k mírnému nárůstu pevnosti (Tab. 27), ačkoli zkušební těleso bylo při vyjmutí z formy mírně poškozeno. Proto byla jako poslední připravena 18. záměs, v níž byl poměr cementu ke strusce 5/5.

### 11.13. 18. Záměs

Záměs byla připravena stejně jako referenční směs, jen se liší v rozdílném poměru cementu a strusky. Tento poměr je 5/5, jako aktivátor byla použita směs sodného vodního skla a 50 % roztoku hydroxidu sodného (Obr. 38 – 39).

Suroviny	Množství na 1,1 l
5 Cement	0,611 kg
5 Struska	0,611 kg
Mikrosilika	0,0583 kg
Křemičitý písek	0,2442 kg
Čedič 1-4	1,1484 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,0451 kg
Aktivátor (Vodní sklo + 50% $\Theta$ NaOH)	10 ml
Zpomalovač (Lentan VZ 31)	0,001 kg
Voda	0,2587 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0677 kg

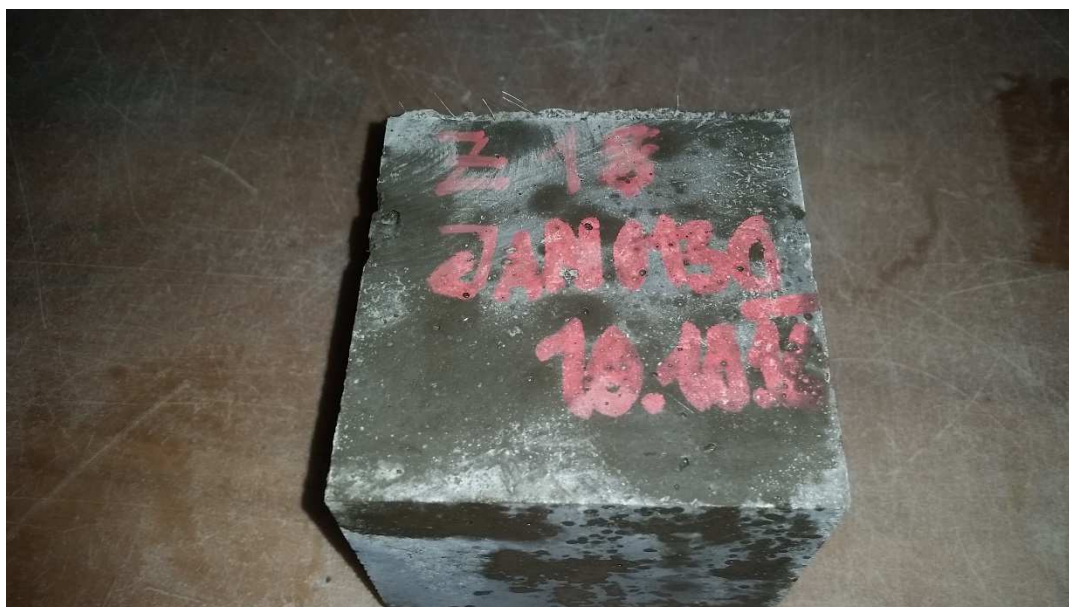
Konzistence této směsi byla podobná jako u 17. záměsi (Obr. 37). Očekávaným výsledkem je pevnost v tlaku přes 100 MPa (Tab. 28).



Obr. 37: 18. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Tab. 28: Pevnost v tlaku 18. záměsi po 7 dnech

18. Záměs							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	103,00	2,433	1038,20	103,8	2360



Obr. 38: Betonová krychle z 18. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

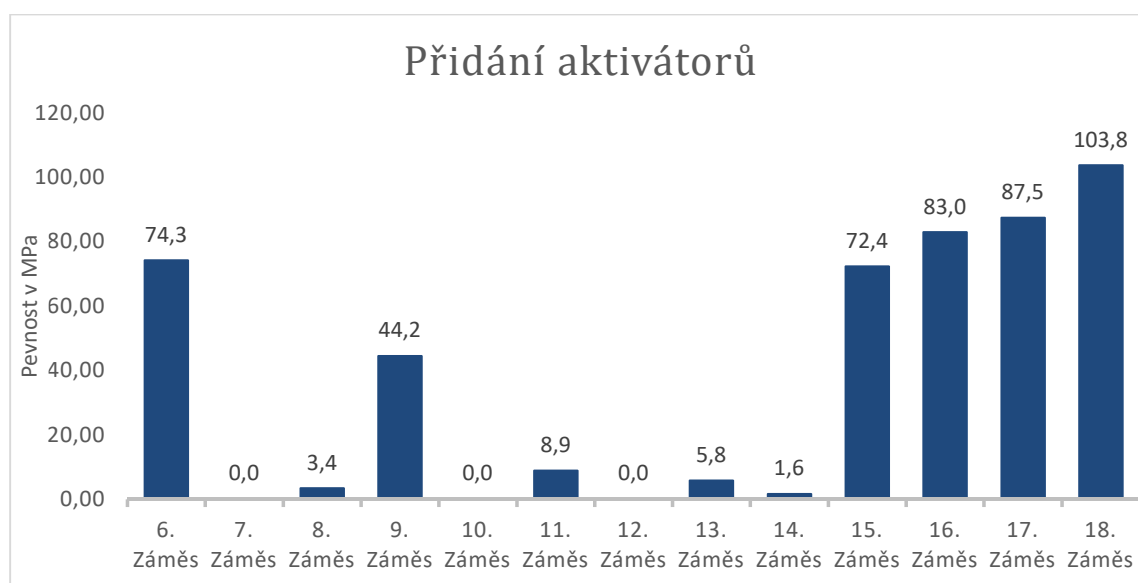


Obr. 39: Vzorek 18. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

U této směsi bylo dosaženo pevnosti v tlaku po 7 dnech nad 100 MPa. Konzistence této směsi byla také vyhovující, jak je vidět na obrázku (Obr. 37).

#### 11.14. Shrnutí

Výsledky pevností jednotlivých záměsí (6 - 18) jsou graficky znázorněny na Obr. 40. Na základě dosažených výsledků byla pro další experimenty vybrána záměs č. 18, u níž budou stanoveny pevnosti v tlaku po 1, 7 a 28 dnech, dále pevnosti v tahu za ohybu a pevnost v příčném tahu po 28 dnech, konzistence (rozlítí), mrazuvzdornost a objemová hmotnost.



Obr. 40: Grafické znázornění pevností záměsí, v nichž byly použity různé aktivátory

## 12. Závěrečná směs

Závěrečná směs, jejíž vlastnosti byly dále stanovovány, vychází ze složení 18. záměsi. Před začátkem míchání byly přichystány všechny suroviny v dostatečném množství (cca na 60 l záměsi).

Byly míchány tři velkoobjemové laboratorní míchačky jedna o objemu 30 litrů a dvě o objemu 15 litrů. Při tomto způsobu přípravy byla konzistence směsi jiná než ta, která byla dosažena při míchání v maloobjemové laboratorní míchačce. I jiné práce [25] udávají, že při přípravě alkalicky aktivovaných směsí ve větším objemu je nutné průběžně dle celkového objemu navyšovat množství záměsové vody. Vzhledem k tomu, že po vibrování se směs bez problémů ztuhlila ve formě, nebyla tato problematika řešena a směs byla ponechána v původním složení.

### 12.1. Receptura závěrečné betonové směsi

Suroviny	Množství na 1 l	Množství na 61 l
5 Cement	0,555 kg	33,855 kg
5 Struska	0,555 kg	33,855 kg
Mikrosilika	0,053 kg	3,233 kg
Křemičitý písek	0,222 kg	13,542 kg
Čedič 1-4	1,044 kg	63,684 kg
Super plastifikátor (Glenium Ace 446)	0,041 kg	2,501 kg
Zpomalovač Lentan VZ 31	0,001 kg	0,061 kg
Voda	0,217 kg	13,237 kg
Aktivátor + Voda	10 ml + 0,02 kg	610 ml + 1,22 kg
Drátky (Master Fiber 482)	0,0615 kg	3,7515 kg

### 12.2. Naměřené hodnoty

V následujících podkapitolách jsou zaznamenány naměřené hodnoty u jednotlivých zkoušek.

#### 12.2.1. Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla stanovena normovou metodou na krychlích (150 x 150 x 150) mm (Tab. 29 – 31, Obr. 41).



Tab. 29: Závěrečná směs 1 denní pevnost v tlaku

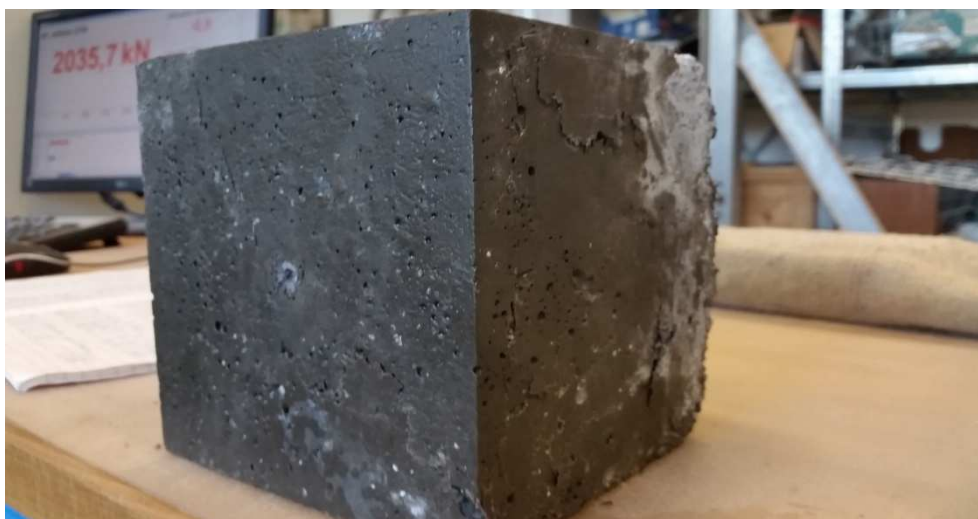
1 denní pevnosti v tlaku							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	149,00	149,00	148,00	7,662	898,00	40,7	2330
2	149,00	149,00	149,00	7,668	902,20	40,6	2320
3	149,00	149,00	156,00	8,093	986,00	42,4	2340
Průměr	149,00	149,00	151,00	7,81	928,73	41,2	2330

Tab. 30: Závěrečná směs 7 denní pevnost v tlaku

7 denní pevnosti v tlaku							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	149,00	149,00	154,00	8,112	1857,10	80,9	2370
2	149,00	149,00	153,00	7,987	1792,00	78,6	2350
3	149,00	149,00	155,00	8,089	1818,50	78,7	2350
Průměr	149,00	149,00	154,00	8,06	1822,53	79,4	2360

Tab. 31: Závěrečná směs 28 denní pevnost v tlaku

28 denní pevnosti v tlaku							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m³]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	149,00	149,00	155,00	7,174	2112,90	91,5	2080
2	149,00	149,00	150,00	7,974	2266,00	101,4	2390
3	150,00	150,00	150,00	7,744	2035,70	90,5	2290
Průměr	149,33	149,33	151,67	7,63	2138,20	94,5	2260



Obr. 41: Vzorek závěrečné směsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 28 denní

### 12.2.2. Pevnost v příčném tahu po 28 dnech

Pevnost v příčném tahu (Obr. 43) byla zkoušena dvěma způsoby. Nejdříve pomocí vodícího přípravku, do kterého se usadí zkušební těleso a roznášecí proužky (Obr. 42). Posléze bylo použito válcových ocelových tlačných segmentů, které jsou vhodnější pro krychle, na nichž byla zkouška prováděna. Pevnosti jsou uvedeny v Tab. 32.

Tab. 32: Závěrečná směs 28 denní pevnost v příčném tahu

28 denní pevnosti v příčném tahu							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v příčném tahu		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	149,00	149,00	151,00	7,923	324,00	9,2	2360
2	149,00	149,00	152,00	7,974	254,00	7,1	2360
Průměr	149,00	149,00	151,50	7,95	289,00	8,2	2360



Obr. 42: Vodící přípravek s roznášecími proužky určený na zkoušku pevnosti v příčném tahu



Obr. 43: Vzorek závěrečné směsi po provedení normové zkoušky pevnosti v příčném tahu 28 denní

### 12.2.3. Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu byla stanovena na dvou trácích, průměrná pevnost v tahu za ohybu činí 16,9 MPa (viz Tab. 33, Obr. 44).

Tab. 33: Závěrečná směs 28 denní pevnost v tahu za ohybu

28 denní pevnosti v tahu za ohybu							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tahu za ohybu		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	100,00	100,00	400,00	9,272	37,73	17,0	2320
2	100,00	100,00	400,00	9,422	37,48	16,9	2360
Průměr	100,00	100,00	400,00	9,35	37,61	16,9	2340



Obr. 44: Vzorek závěrečné směsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tahu za ohyb 28 denní

#### 12.2.4. Statický modul pružnosti v tlaku a dynamický modul pružnosti

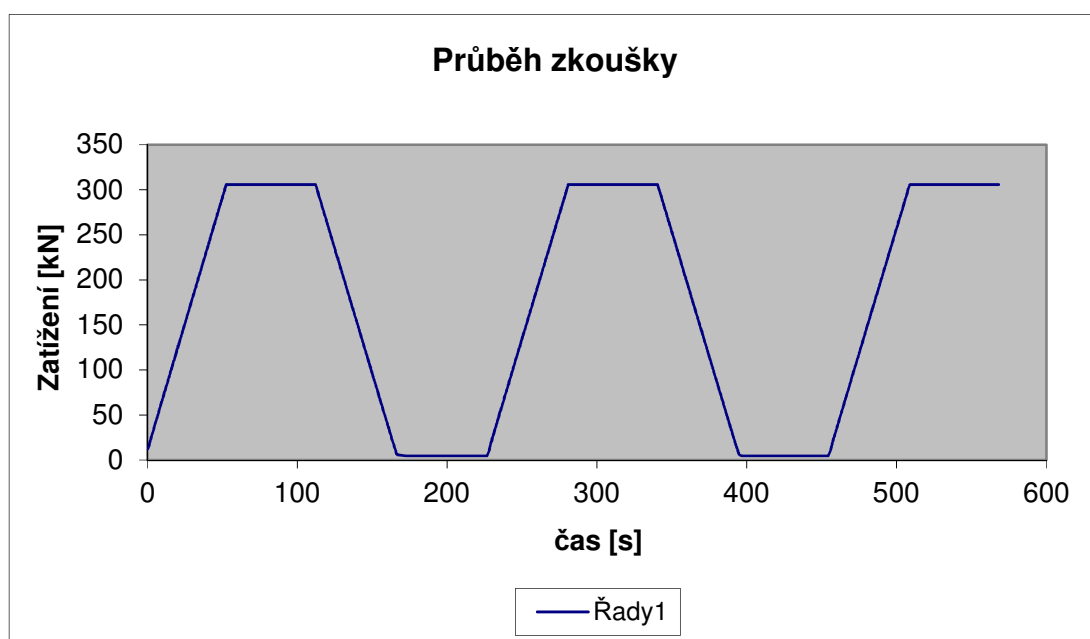
U betonů, které mají výztuž, není doporučeno stanovovat dynamický modul pružnosti, jelikož vlákna dosti zkreslí výsledky. Přesto byly provedeny obě zkoušky k porovnání.

Tab. 34: Závěrečná směs statický modul pružnosti v tlaku po 28 dnech

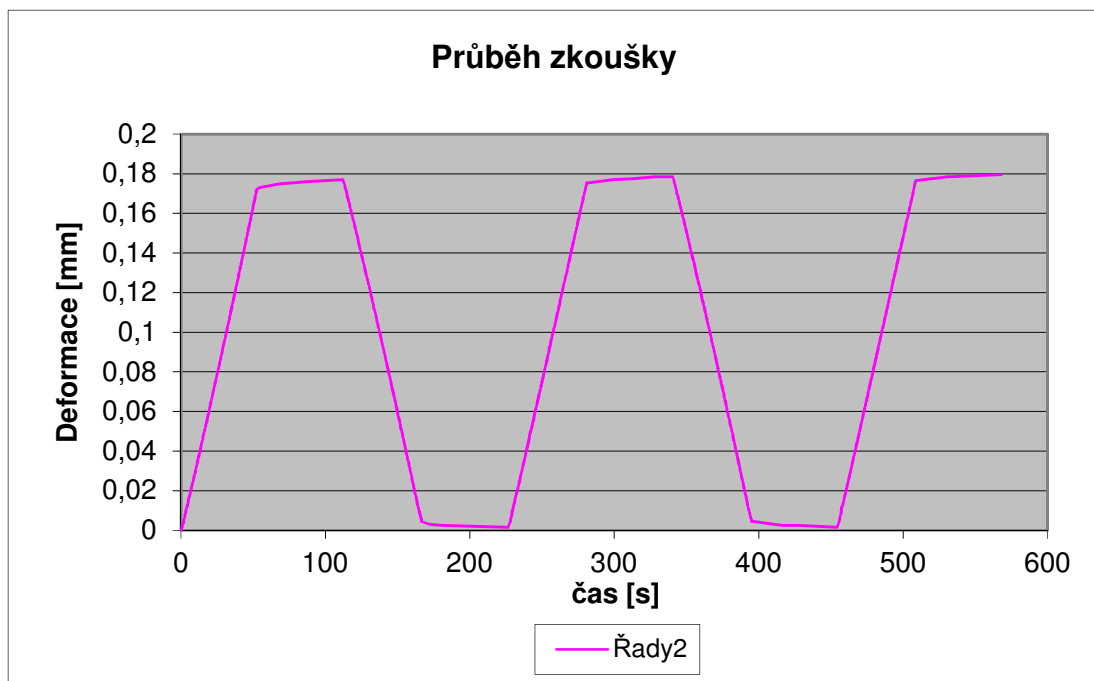
Statický modul pružnosti									
Trámec č. 1									
[mm]			[kN]		[mm]				
Délka	Šířka	Výška	Zatížení A max	Zatížení B	def. A max	def. B	pom. def. A max	pom. def. B	délka měřicí základny L
400	100	100	30	0,5	0,15	0,000	0,00075	0	200
Výsledný statický modul pružnosti je 39,3 GPa									

Trámec č. 2									
[mm]			[kN]		[mm]				
Délka	Šířka	Výška	Zatížení A max	Zatížení B	def. A max	def. B	pom. def. A max	pom. def. B	délka měřicí základny L
400	100	100	33	0,5	0,1795	0,0015	0,000898	0,0000075	200
Výsledný statický modul pružnosti je 36,5 GPa									

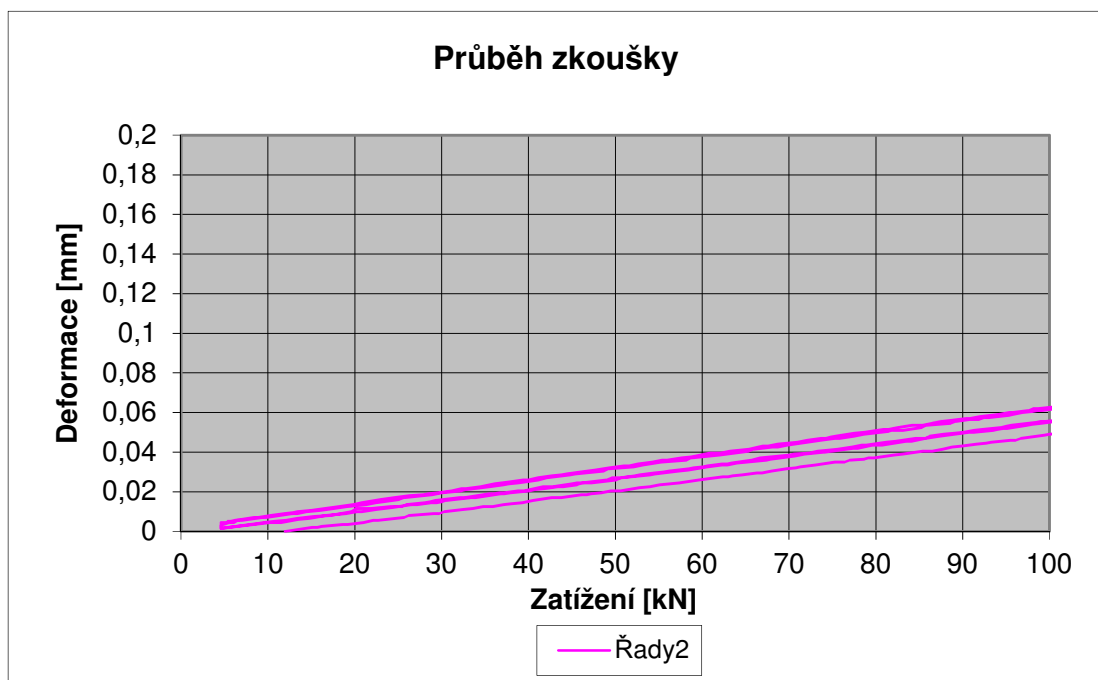
Výsledný statický modul pružnosti těchto dvou trámů je 37,9 GPa. Jelikož oba zkoušené trámy dosahují skoro stejné hodnoty modulu pružnosti, průběh zkoušky je znázorněn grafy pouze jednoho z těles (Obr. 45 – 47).



Obr. 45: Grafické vyjádření působení zatížení v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti



Obr. 46: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti



Obr. 47: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na zatížení při stanovení modulu pružnosti

Tab. 35: Závěrečná směs - dynamický modul pružnosti po 28 dnech

Dynamický modul pružnosti			
Trámec č. 1		Trámec č. 2	
Výška [m]	0,4	Výška [m]	0,4
Šířka [m]	0,1	Šířka [m]	0,1
Délka [m]	0,1	Délka [m]	0,1
Hmotnost [kg]	9,2715	Hmotnost [kg]	9,4215
Objem [Kg/m <sup>3</sup> ]	2320	Objem [Kg/m <sup>3</sup> ]	2360
1. Měření [s]	0,0000886	1. Měření [s]	0,0000866
2. Měření [s]	0,0000884	2. Měření [s]	0,0000866
3. Měření [s]	0,0000887	3. Měření [s]	0,0000874
4. Měření [s]	0,0000888	4. Měření [s]	0,0000866
5. Měření [s]	0,0000883	5. Měření [s]	0,000086
Ø Měření [s]	0,000089	Ø Měření [s]	0,000087
Rychlost [m/s]	4516,7118	Rychlost [m/s]	4616,8052
E <sub>cu</sub> [GPa]	47,3	E <sub>cu</sub> [GPa]	50,2

Výsledný dynamický modul pružnosti je 48,8 GPa.

Díky porovnání tabulek (Tab. 34 a 35) je zřejmé, že výsledné moduly pružnosti se liší o 10 GPa. Proto lze s jistotou říci, že výztuž v betonu výrazně ovlivňuje rychlost UZ vlnění, kterou měříme při zkoušce dynamického modulu pružnosti.

#### 12.2.5. Stanovení konzistence na střešacím stolku

Bylo také provedeno stanovení konzistence (zjištění rozlití) na střešacím stolku. Výsledné rozlití je 142,5 mm.

#### 12.2.6. Stanovení mrazuvzdornosti

Mrazuvzdornost byla sledována po dobu 25 cyklů na krychlích (150 x 150 x 150) mm. Normový postup byl upraven. Dle normy se součinitel mrazuvzdornosti stanoví jako poměr pevností v tahu za ohybu těles zkoušených a těles referenčních, kdy zkušebními tělesy jsou trávce. V rámci experimentu byl součinitel mrazuvzdornosti stanoven z poměru pevností těles zkoušených a těles referenčních v tlaku, kdy zkušební tělesa jsou krychle. Pevnosti v tlaku po provedení zkoušky mrazuvzdornosti (Tab. 36) byly porovnávány s pevnostmi v tlaku po 28 dnech (Tab. 31).



Tab. 36: Hodnoty pevností po zkoušce mrazuvzdornosti

Hodnoty pevností po zkoušce mrazuvzdornosti							
Název vzorku	Rozměry			Váha [kg]	Pevnost v tlaku		Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]		Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
1	149,00	149,00	152,00	8,148	2370,90	104,7	2410
2	149,00	149,00	152,00	7,985	2451,60	108,3	2370
3	150,00	150,00	153,00	8,034	2130,80	92,1	2330
Průměr	149,33	149,33	152,33	8,06	2317,77	101,7	2370

Průměrná pevnost po 28 dnech byla 94,5 MPa (Tab. 31). Součinitel mrazuvzdornosti byl orientačně stanoven z poměru pevnosti v tlaku na krychlích po provedení zkoušky mrazuvzdornosti a pevností v tlaku na krychlích po 28 dnech.

Součinitel mrazuvzdornosti po 25 cyklech je tedy  $1,08 \approx 1,0$ .

Z výsledků vyplývá, že po 25 cyklech nedošlo ke snížení pevnosti v tlaku u zkoušených těles. Bylo by vhodné ověřit mrazuvzdornost i po více cyklech (ideálně 150 a více), toto však z časových a technických důvodů nebylo v rámci experimentu realizováno.

#### 12.2.7. Stanovení objemové hmotnosti

V rámci praktické části diplomové práce byla stanovena u odzkoušených vzorků i objemová pevnost (viz jednotlivé tabulky). Objemová hmotnost závěrečné směsi byla určena jako průměr těchto hodnot.

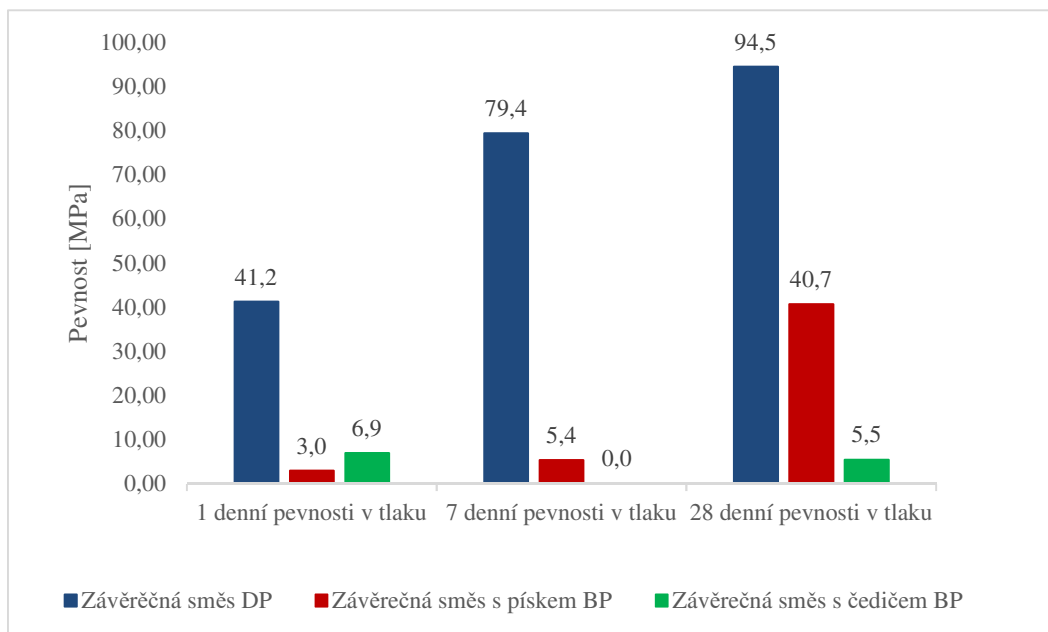
Objemová hmotnost závěrečné směsi byla určena pomocí rozměrů a váhy jednotlivých zkoušených těles a v průměru činí 2340 kg/m<sup>3</sup>.

### 12.3. Vyhodnocení

V této práci byla jako referenční směs (Kap. 8.) použita receptura vysokopevnostního betonu, který byl připraven v předmětu Technologie betonových dílců, jeho složení je zřejmé z Tab. 10. Tento beton dosahoval vynikajících pevností.

Tato práce navazuje na bakalářskou práci, v níž byla problematika přípravy vysokopevnostních hmot již řešena. Výsledky bakalářské práce však nebyly uspokojivé, jelikož v rámci experimentů nebylo dosaženo požadovaných vlastností, pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání se pohybovaly na tělesech pro zkoušení betonů jen kolem 40 MPa.

Proto byla v rámci diplomové práce použita již ověřená receptura vysokopevnostního betonu a ta byla dále modifikována. Porovnání dosažených pevností v tlaku u obou prací je zřejmé z Obr. 48.



Obr. 48: Grafické porovnání pevností v tlaku závěrečných směsí diplomové a bakalářské práce



### 13. Závěr

Cílem této práce byla příprava vysokopevnostního alkalicky aktivovaného betonu a následné ověření jeho vlastností. Při přípravě se vycházelo ze zásad pro vysokopevnostní betony a také z receptury, která byla ověřena v předmětu Technologie betonových dílců. Experiment probíhal ve dvou etapách, kdy byl nejprve měněn poměr cementu a vysokopecní jemně mleté granulované strusky. Druhá etapa poté spočívala v alkalické aktivaci strusky.

První etapa měla za úkol stanovit optimální poměr cementu a strusky. Nejvyšších pevností v tlaku bylo, s výjimkou směsi referenční, dosaženo u receptur s poměrem cementu ku strusce 7/3 (pevnost 117,3 MPa) a 5/5 (pevnost 105,3 MPa).

Druhá etapa zjišťovala vliv různých typů aktivátorů na vlastnosti připravených směsí. Jako aktivátory byly použity upravené vodní sklo pomocí 50 %  $\Theta$  NaOH, metakřemičitan disodný bezvodý, 50 % roztok NaOH a Desil Al.

Vzhledem k tomu, že ve všech připravených směších byl používán portlandský cement, s nímž vodní skla a hydroxidy obecně fungují jako urychlovače tuhnutí, docházelo u připravených hmot po smísení těchto složek k bezprostředním změnám konzistence směsí, tyto byly následně obtížně zpracovatelné. Proto byly jako alternativy testovány i jiné aktivátory (Desil Al, metakřemičitan sodný bezvodý), tyto však rovněž nevedly k uspokojivým výsledkům. Následně tedy byla otestována možnost přípravy receptury bez obsahu cementu, v níž byla jako pojivo použita pouze vysokopecní struska. V této receptuře se ovšem pro změnu neuplatnilo použití plastifikační přísady a i tato směs nebyla pro další výzkum použitelná. Proto bylo přistoupeno k dalším experimentům, kdy bylo do receptury použito pouze malé množství upraveného vodního skla a bylo mírně navýšeno množství záměsové vody, přičemž toto přidané množství bylo dávkováno až na konci přípravy směsi, společně s aktivátorem. U takto realizované receptury bylo dosaženo jak uspokojivé zpracovatelnosti, tak i dostatečně vysokých pevností v tlaku, jež se po 28 dnech zrání pohybovaly kolem 100 MPa.

U této receptury byly v závěrečné části práce stanoveny další vybrané vlastnosti, konkrétně pevnosti v tahu za ohybu, jež se po 28 dnech pohybovaly na úrovni 17 MPa, pevnost v příčném tahu po 28 dnech činila 8 MPa a hodnota statického modulu pružnosti 37,9 GPa. Mrazuvzdornost byla z časových a také z technických důvodů (kdy během testování došlo k poruše na zařízení) stanovena pouze po prvních 25 cyklech. Z dosažených výsledků je zřejmé, že po těchto absolvovaných zkušebních cyklech nedošlo u těles k poškození a nebylo zaznamenáno snížení pevností oproti referenční sadě těles.

V rámci zhodnocení experimentu jako celku lze konstatovat následující:

- Během přípravy směsí bylo zřetelné, že směs připravená v maloobjemové míchačce má rozdílné parametry (konzistence, zpracovatelnost), než směs připravená v míchačce velkoobjemové.
- V závislosti na množství připravené směsi se lišily i konečné vlastnosti kompozitů, čím menší množství připravené hmoty, tím lepší konečné vlastnosti.
- Není vhodné tyto kompozity připravovat pomocí ručního míchadla, kdy vlivem nedostatečného rozměru lopatek nedochází k optimální homogenizaci směsi.
- Na konzistenci směsi má vliv nejen množství aktivátoru, ale i doba jeho přidání do směsi.
- U směsi bez přítomnosti cementu se vůbec neuplatnil plastifikátor, jehož účinnost byla ověřena u směsí s minoritním podílem cementu vůči obsahu strusky.
- Byla prokázána účinnost zpomalovače tuhnutí Lentan VZ 31.

V rámci práce se podařilo připravit alkalicky aktivovaný kompozit (struskoalkalický beton), jenž po 28 dnech zrání dosahuje pevností v tlaku blížících se 100 MPa. V případě jeho praktického uplatnění je však nutností jeho další testování (ověření alkalicko-křemičité reakce, objemové změny, další trvanlivostní parametry, aj.), jako vhodný se však jeví další výzkum možné optimalizace směsi.

## **14. Poděkování**

Mé poděkování patří hlavně vedoucí diplomové práce Ing. Janě Boháčové za konzultace, cenné rady a pomoc při práci. Také je mé poděkování směřováno celé Laboratoři staveních hmot FAST, VŠB-TUO za pomoc při výzkumné práci. Všem výše uvedeným patří mé poděkování rovněž za poskytnutí materiálu pro experimentální část mé práce.

## 15. Použitá literatura

- [1] BOHÁČOVÁ, J., STANĚK, S., VAVRO, M. Možnosti aplikace alkalicky aktivovaných systémů ve stavebnictví. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*. Číslo 2, rok 2012, ročník XII, řada stavební, článek č. 8
- [2] ŠKVÁRA, F. *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery*. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-004-1. Dostupné z: <http://www.vscht.cz>. VŠCHT v Praze, Ústav skla a keramiky.
- [3] DAVIDOVITS, J. *Geopolymer Chemistry and Applications 3rd edition*. Institut Géopolymère 16 rue Galilée F-02100 Saint-Quentin France
- [4] JANALÍK, Lukáš. *Výzkum a vývoj vysokopevnostních alkalicky aktivovaných systémů*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Boháčová Jana.
- [5] PACHECO-TORGAL, F., LABRINCHA, J., LEONELLI, C., PALOMO, A., CHINDAPRASIRT, P. *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes*. Waltham, MA: Woodhead Pub., 2014. ISBN 978-178-2422-761.
- [6] ŠKVÁRA, F., J. DOLEŽAL, P. SVOBODA, et al. *Concrete based on fly ash geopolymers*. Praha, 2005.
- [7] High strength concrete. *The Concrete Centre, part of the MPA* [online]. London [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: [http://www.concretecentre.com/Performance-Sustainability-\(1\)/Special-Concrete/high-strength-concrete.aspx](http://www.concretecentre.com/Performance-Sustainability-(1)/Special-Concrete/high-strength-concrete.aspx)
- [8] High-Strength Concrete Comes of Age. In: *Structure magazine* [online]. USA, 2014 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.structuremag.org/?p=5460>
- [9] High strength concrete. *The Concrete Society* [online]. London [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=528>
- [10] Trojský most z vysokopevnostního betonu se subtilní konstrukcí bez opory. In: *TZB-info* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://stavba.tzb->

info.cz/beton-malty-omitky/9989-trojsky-most-z-vysokopevnostniho-betonu-se-subtilni-konstrukci-bez-opory

- [11] MALIER, Yves. *High performance concrete From material to structure*. London: E & FN SPON. ISBN 0-419-17600-4.
- [12] SVOBODA, L., a kol. *Stavební hmoty*. Praha, 2013. 3. vydání.
- [13] Pontex spol. s.r.o. *Vysokohodnotné betony pro mosty*. PK. Praha, červen 2010.
- [14] TOPCEMENT. *Produktový list portlandského cementu CEM I 52,5 R*. Hranice na Moravě.
- [15] ŠVRČINOVÁ, R. *Materiálové využití strusek z železa a oceli*. VŠB-TUO. Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2010, Ostrava, 32 s.
- [16] *How microsilica improves concrete*. USA: Aberdeen group, 1985, , 4 s.
- [17] Písek. Cemex [online]. Praha [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: [http://www.cemex.cz/pisek.aspx?gclid=CjwKEAiAmJvBBRDkP724LigwngSJAAYRjXB\\_oDRyAukdK m-nDHdHcBGB7LDI7AMnakaDACsbliKRhoC1j7w\\_wcB](http://www.cemex.cz/pisek.aspx?gclid=CjwKEAiAmJvBBRDkP724LigwngSJAAYRjXB_oDRyAukdK m-nDHdHcBGB7LDI7AMnakaDACsbliKRhoC1j7w_wcB)
- [18] Křemičité písky přírodní. SAND System [online]. Klimkovice - Václavovice [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.sandsystem.cz/vyroby/kremicite-pisky-prirodni/?lng=cs>
- [19] GEO. MEHYAR, Nidal a Geo. Marwan MADANAT. *Basalt*. MINISTRY OF ENERGY AND MINERAL RESOURCES Mineral Status and Future Opportunity, 2015, 14 s.
- [20] BASF. *Technický list MasterGlenium ACE 446*. Mannheim, Germany, 2015, 2 s. Dostupné také z: [https://assets.master-builders-solutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/Czech%20\(Czech%20Republic\)/TL/basf-masterglenium-ace-446-tl.pdf](https://assets.master-builders-solutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/Czech%20(Czech%20Republic)/TL/basf-masterglenium-ace-446-tl.pdf)
- [21] CHRYSO. *Technický list CHRYSO®Plast 760*. Issy les Moulineaux cedex - France, 2014, 2 s. Dostupné také z: [http://fr.chryso.com/upload/t\\_documents/Fichier\\_L2/42944/TDS\\_CHRYSOPlast\\_760\\_ANG.pdf](http://fr.chryso.com/upload/t_documents/Fichier_L2/42944/TDS_CHRYSOPlast_760_ANG.pdf)

- [22] BASF. *Technický list MasterFiber 482*. Chrudim, 2015, 2 s. Dostupné také z: <https://www.master-builders-solutions.basf.cz/cs-cz/products/masterfiber/2966>
- [23] ZÁVRSKÝ, Petr. *Ověření možnosti aplikace jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty ve stavebnictví*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Boháčová Jana.
- [24] ŠVEC, Petr. PENTA S.R.O. *Bezpečnostní list Metakřemičitan disodný bezvodý*. Praha, 2011, 6 s.
- [25] KOŇAŘÍK, Josef. *Ověření vlastností alkalicky aktivovaných systémů na bázi vysokopecní strusky a hodnocení jejich použitelnosti ve vybrané oblasti stavebnictví*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Boháčová Jana.
- [26] VODNÍ SKLO. *Desil Al*. Praha, 2012, 1 s. Dostupné také z: [http://www.vodnisklo.cz/data/pdf/specifikace/Desil\\_AL\\_-\\_cz1.pdf](http://www.vodnisklo.cz/data/pdf/specifikace/Desil_AL_-_cz1.pdf)
- [27] BASF. *Technický list Lentan VZ 31*. Chrudim, 2008. Dostupné také z: [http://www.oblibene.com/userdata/shopimg/bezedos/file/technická%20dokumentace/tl\\_lentan%20vz%2031.pdf](http://www.oblibene.com/userdata/shopimg/bezedos/file/technická%20dokumentace/tl_lentan%20vz%2031.pdf)
- [28] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. *ČSN EN 933-1: Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1.: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [29] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. *ČSN EN 12390-2: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [30] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. *ČSN EN 1015-3: Zkušební metody malt pro zdivo Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [31] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. *ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

- [32] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 12390-5: *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [33] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 12390-6: *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [34] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 12390-7: *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [35] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN ISO 1920-10: *Zkoušení betonu – Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [36] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN 73 1371: *Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [37] ČESKOSLOVENSKÁ STÁTNÍ NORMA. ČSN 73 1322: *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1969. Platná se změnou ČSN 73 1322 ZMĚNA Z1 z roku 2013.
- [38] ACEVEDO-MARTINEZ, E., L.Y. GOMEZ-ZAMORANO a J.I. ESCALANTE-GARCIA. Portland cement-blast furnace slag mortars activated using waterglass: Part 1: Effect of slag replacement and alkali concentration. *Construction and Building Materials*. Apartado Postal 663, Saltillo, Coah, Mexico, 2012, (37), 8 s.
- [39] ROY, S., S. CHANDA,, S.K. BANDOPADHYAY a S.N. GHOSH. *Investigation of portland slag cement activated by waterglass*. Pergamon, 1998, 8 s.
- [40] SHI, C., SHI, Z., HU, X., ZHAO, R., CHONG, L. *A review on alkali-aggregate reactions in alkali-activated mortars/concretes made with alkali-reactive aggregates. Materials and Structures*. 2015, Volume 48, Issue 3, s. 621–628.

## 16. Seznam obrázků

Obr. 1: Teoretický model pro reakční mechanismus alkalicky aktivované strusky

Obr. 2: Trojský most v Praze přes Vltavu

Obr. 3: Two Union Square budova v Seattlu

Obr. 4: Vztah mezi vodním součinitelem a pevností betonu

Obr. 5: Hydratace cementu v závislosti na vodním součiniteli

Obr. 6: Zjednodušené technologické schéma výroby cementu

Obr. 7: Osazení zkušebních těles měřicí soustavou

Obr. 8: Schéma měření UZ impulsu

Obr. 9: Grafické znázornění pevnosti v tahu za ohybu referenční směsi

Obr. 10: Grafické znázornění pevnosti v tlaku referenční směsi

Obr. 11: Trámec referenční směsi podrobený zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 12: Betonové krychle referenční směsi vytažené z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 13: Betonová krychle referenční směsi bezprostředně po provedení zkoušky pevnosti v tlaku v lisu

Obr. 14: Betonová krychle referenční směsi po provedení zkoušky pevnosti v tlaku vyjmutá z lisu

Obr. 15: Křivka zrnitosti čediče frakce 1/4

Obr. 16: 1.-4. záměs před zkouškou pevnosti v tlaku po 7 dnech

Obr. 17: Vzorek 1. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech

Obr. 18: Vzorek 2. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech

Obr. 19: Vzorek 3. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech

Obr. 20: Vzorek 4. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku po 7 dnech



Obr. 21: Grafické znázornění pevnosti v tlaku poměrů cementu a strusky

Obr. 22: 6. Záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Obr. 23: Betonová krychle z 6. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 24: Vzorek 6. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Obr. 25: 9. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Obr. 26: Betonová krychle z 9. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 27: Vzorek 9. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Obr. 28: 15. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Obr. 29: Betonová krychle z 15. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 30: Vzorek 15. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Obr. 31: 16. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Obr. 32: Betonová krychle z 16. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 33: Vzorek 16. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Obr. 34: 17. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Obr. 35: Betonová krychle ze 17. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 36: Vzorek 17. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Obr. 37: 18. záměs po dokončení míchání před ukládáním do formy

Obr. 38: Betonová krychle z 18. záměsi vytažená z vodní lázně před zkouškou pevnosti v tlaku

Obr. 39: Vzorek 18. záměsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 7 denní

Obr. 40: Grafické znázornění pevností záměsů, v nichž byly použity různé aktivátory

Obr. 41: Vzorek závěrečné směsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku 28 denní

Obr. 42: Vodící přípravek s roznášecími proužky určený na zkoušku pevnosti v příčném tahu

Obr. 43: Vzorek závěrečné směsi po provedení normové zkoušky pevnosti v příčném tahu 28 denní

Obr. 44: Vzorek závěrečné směsi po provedení normové zkoušky pevnosti v tahu za ohyb 28 denní

Obr. 45: Grafické vyjádření působení zatížení v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti

Obr. 46: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na čase při stanovení modulu pružnosti

Obr. 47: Grafické vyjádření působení deformace v závislosti na zatížení při stanovení modulu pružnosti

Obr. 48: Grafické porovnání pevnosti v tlaku závěrečných směsí diplomové a bakalářské práce

## 17. Seznam tabulek

Tab. 1: Složení a pevnosti betonu použitého na Two Union Square Buldings

Tab. 2: Chemické složení vysokopecní strusky v hmotnostních %

Tab. 3: Chemické složení čediče v České republice

Tab. 4: Technické údaje Master Glenium ACE 446

Tab. 5: Technické údaje CHRYSO Plast 760

Tab. 6: Technické údaje Master Fiber 482

Tab. 7: Technické údaje metakřemičitanu disodného

Tab. 8: Technické údaje Desil Al

Tab. 9: Technické údaje Lentan VZ 31

Tabulka 10: Pevnosti v tahu za ohybu a tlaku referenční směsi

Tab. 11: Výsledné zůstatky na sítích

Tab. 12: Pevnost v tlaku 1. záměsi 3,3 l po 7 dnech

Tab. 13: Pevnost v tlaku 1. záměsi 1,1 l po 7 dnech

Tab 14: Pevnost v tlaku 2. záměsi 3,3 l po 7 dnech

Tab 15: Pevnost v tlaku 2. záměsi 1,1 l po 7 dnech

Tab 16: Pevnost v tlaku 3. záměsi 1,1 l po 7 dnech

Tab 17: Pevnost v tlaku 4. záměsi 1,1 l po 7 dnech

Tab 18: Pevnost v tlaku 5. záměsi 1,1 l po 7 dnech

Tab. 19: Pevnost v tlaku 6. záměsi po 7 dnech

Tab. 20: Pevnost v tlaku 8. záměsi po 7 dnech

Tab. 21: Pevnost v tlaku 9. záměsi po 7 dnech

Tab. 22: Pevnost v tlaku 11. záměsi po 7 dnech

Tab. 23: Pevnost v tlaku 13. záměsi po 7 dnech

Tab. 24: Pevnost v tlaku 14. záměsi po 7 dnech

Tab. 25: Pevnost v tlaku 15. záměsi po 7 dnech

Tab. 26: Pevnost v tlaku 16. záměsi po 7 dnech

Tab. 27: Pevnost v tlaku 17. záměsi po 7 dnech

Tab. 28: Pevnost v tlaku 18. záměsi po 7 dnech

Tab. 29: Závěrečná směs 1 denní pevnost v tlaku

Tab. 30: Závěrečná směs 7 denní pevnost v tlaku

Tab. 31: Závěrečná směs 28 denní pevnost v tlaku

Tab. 32: Závěrečná směs 28 denní pevnost v příčném tahu

Tab. 33: Závěrečná směs 28 denní pevnost v tahu za ohybu

Tab. 34: Závěrečná směs statický modul pružnosti v tlaku po 28 dnech

Tab. 35: Závěrečná směs dynamický modul pružnosti po 28 dnech

Tab. 36: Hodnoty pevností po zkoušce mrazuvzdornosti

## **18. Přílohy**

Příloha 1	Prohlášení o vlastnostech CEM I 52,5 R Cement Hranice
Příloha 2	Technický list vysokopecní granulované strusky
Příloha 3	Technický list Glenium ACE 446
Příloha 4	Technický list CHRYSO Plast 760
Příloha 5	Technický list Master Fiber 482
Příloha 6	Technický list hydroxidu sodného
Příloha 7	Technický list metakřemičitanu disodného
Příloha 8	Technický list Desil Al
Příloha 9	Technický list Lentanu VZ 31

Prohlášení o vlastnostech 1020-CPD-070021896	
Jedinečný identifikační kód typu výrobku:	Portlandský cement EN 197-1 – CEM I 52,5 R
Zamýšlené / zamýšlená použití:	Příprava betonu, malty, injektážní malty a jiných směsí pro stavění a pro výrobu stavebních výrobků
Výrobce:	Cement Hranice, akciová společnost Hranice I-Město, Bělotínská 288, PSČ 753 39 Hranice, Česká republika
Systém POSV:	1+
Harmonizovaná norma:	EN 197-1:2011
Oznámený subjekt:	TZÚS Praha, s. p., Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9

## Deklarované vlastnosti:

Základní charakteristiky	Vlastnost
Cement pro obecné použití	CEM I
Příměsí a složení	
Pevnost v tlaku počáteční pevnost [MPa]	≥ 30,0
Pevnost v tlaku normalizovaná pevnost [MPa]	≥ 52,5
Počátek tuhnutí [min]	≥ 45
Objemová stálost [mm]	≤ 10,0
Nerozpustný zbytek [% hmot. ]	≤ 5,0
Ztráta žíháním [% hmot. ]	≤ 5,0
Obsah síranů (jako SO <sub>3</sub> ) [% hmot. ]	≤ 4,0
Obsah chloridů [% hmot. ]	≤ 0,1

Toto prohlášení o vlastnostech je zpřístupněno na internetové stránce výrobce: [www.cement.cz](http://www.cement.cz)

Vlastnosti výše uvedeného výrobku jsou ve shodě se souborem deklarovaných vlastností.  
Toto prohlášení o vlastnostech se v souladu s nařízením (EU) č. 305/2011 vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného výše.

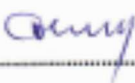
Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Jaromír Chmela  
Předseda představenstva

V Hranicích

dne: 01. 07. 2015

Podpis:





## Struska velmi jemně mletá

### Technické parametry:

SMŠ dle PN SMŠ 72 20 90	SMŠ dle XYZ m <sup>2</sup> /kg
Typ výrobku, příklad	SMŠ 400
Měrný povrch dle <u>Blaine</u>	$\geq 400 \text{ m}^2/\text{kg}$ $\geq 4.000 \text{ cm}^2/\text{g}$
Zbytek na síti 45 $\mu\text{m}$	$< 4 \%$
Index účinnosti po 7 dnech *	$> 50 \%$
Index účinnosti po 28 dnech *	$> 80 \%$
Objemová stálost dle <u>Le Chateliera</u>	$< 10 \text{ mm}$
Obsah chloridů	$\leq 0,1 \%$

\* poměr (%) pevnosti v tlaku normalizovaných trámečků z malty připravené se 50 % hmotnosti referenčního cementu a 50 % hmotnosti SMŠ, k pevnosti v tlaku normalizovaných trámečků z malty připravené jen se samotným referenčním cementem dle ČSN EN 196-1.

### Chemické vlastnosti:

Struska mletá	<u>m.j.</u>	PN 72 2090	dosahované průměrné skutečnosti
<u>CaO</u>	%	26 – 45	40,0
<u>MgO</u>	%	4 – 15	8,9
<u>SiO<sub>2</sub></u>	%	28 – 45	39,9
<u>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	%	4 – 12	6,9
<u>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	%	$< 1,5$	0,4
<u>SO<sub>3</sub></u>	%	$\leq 1,5$	0,6
<u>(CaO + MgO) / SiO<sub>2</sub></u>	%	$> 1,0$	1,2

Objednávky, informace: KOTOUC ŠTRAMBERK, spol. s r.o., Lihotin 500, 742 66 Štramberk  
tel.: 556 873 582-5; fax.: 556 873 581; e-mail: [obchod@kotouc.cz](mailto:obchod@kotouc.cz)

Vyhrazujeme si právo provést změny ve výrobcích, které jsou výsledkem technického pokroku. Tímto vydáním ztrácí platnost všechna starší vydání. Aktualizace 12/2013

Identifikace: 511/1



We create chemistry

## MasterGlenium ACE 446

Superplastifikační přísada nové generace na bázi polykarboxylátetheru. Příklad je optimalizována pro výrobu prefabrikovaného betonu. Základní složka systému nulové energie – Zero Energy System™. Příklad odpovídá normě ČSN EN 934-2.

### POUŽITÍ

- MasterGlenium ACE 446 je vhodný pro výrobu prefabrikátů, s využitím betonu s vysokou konzistencí, bez segregace, s nízkým vodním součinitelem a s vysokými počátečními a konečnými pevnostmi.
- MasterGlenium ACE 446 může být použit v kombinaci s přísadou MasterMatrix SDC 100 pro výrobu samozhutňujících betonů.

### PŮSOBNÍ

- MasterGlenium ACE 446 je inovovaná superplastifikační přísada druhé generace polymerů na bázi polykarboxylátetheru.
- Zvláště vyvinutý pro beton s vysokou teplotou.
- Molekulární uspořádání přísady MasterGlenium ACE 446 urychluje hydrataci cementu.
- Rychlá adsorpce molekul na cementové částice, kombinovaná s účinným disperzním efektem, odkrývá zvětšený povrch cementových částic pro reakci s vodou.
- Výsledkem tohoto efektu je rychlý vývoj hydratačního tepla, rychlý vývoj hydratačních produktů a následně vyšší počáteční pevnost.

### TECHNICKÉ ÚDAJE

vzhled	mléčná až žlutá kapalina
obj. hmotnost (při +20 °C)	1,02–1,06 g/ml
obsah chloridů	≤ 0,1 % hm.
obsah alkálií (Na <sub>2</sub> O ekv.)	≤ 2,5 % hm.

### DÁVKOVÁNÍ

- Účinné dávkování obecně je mezi 0,6–1,0 % hmotností cementu.
- Konkrétní dávkování je závislé na množství faktorů, např. požadované zpracovatelnosti, druhu cementu, technologii výroby atd.
- Před použitím je nutné provést průkazní zkoušku dle ČSN EN 206-1.

### ZPRACOVÁNÍ

V betonárně se doporučuje přidat přísadu společně s poslední třetinou záměsové vody, popř. dodatečně do hotové betonové směsi.

Nejlépejších výsledků je dosažováno, pokud přísadu přidáme do míchačky jako poslední, po všech složkách a nejméně po 80 % záměsové vody.

Je nutné dodržet dobu pro zamíchání do směsi podle konkrétních podmínek, ale minimálně 1 min.

### BALENÍ

- sud 200 kg
- kontejner 1000 kg

### SKLADOVÁNÍ

MasterGlenium ACE 446 musí být skladován při teplotě vyšší než +5 °C.

V případě přemrznutí výrobek přemístit do prostředí s teplotou kolem +30 °C a promíchat.

Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, +20 °C) zaručuje výrobce trvanlivost min. 1 rok.

### BEZPEČNOSTNÍ PŘEDPISY

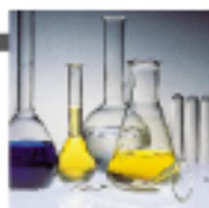
Dbejte důsledně pokynů uvedených v bezpečnostním listě.

### TECHNICKÁ PODPORA

Příslušný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.

**MASTER®**  
**» BUILDERS**  
 SOLUTIONS





## CHRYSO®Plast 760

### Water Reducing Plasticizer



#### Description

CHRYSO®Plast 760 is a sulfonated polynaphthalene based additive.

It acts simultaneously on:

- the dispersion of particles in concrete,
- the cohesion of fresh concrete,
- workability retention properties.

The use of CHRYSO®Plast 760 produces homogeneous concrete which has no segregation or bleeding and has stable workability with time.

The use of CHRYSO®Plast 760 produces plastic concrete with good finish and high compressive strength characteristics.

#### Characteristics

- Nature: liquid
- Colour: brown
- Density (20° C):  $1.15 \pm 0.01$
- pH:  $9.0 \pm 1.0$
- Freezing point: about - 3° C
- Cl<sup>-</sup> ions content:  $\leq 0.10\%$
- Na<sub>2</sub>O equivalent:  $\leq 5.0\%$
- Dry extract (24h, 105° C):  $30.5\% \pm 1.3\%$
- Dry extract (EN 480-8):  $31.0\% \pm 1.3\%$

#### Packaging

- Bulk
- Drums of 60 L
- Barrels of 215 L

#### Conformity

CHRYSO®Plast 760 is a plasticizer – water reducer which conforms to CE marking. The appropriate declaration can be found on our internet site.

CHRYSO®Plast 760 also conforms to NF 085 certification, which technical specifications are those applied in the non harmonized part of the NF EN 934-2.

APCHOP - 11 avenue F. de Perceval - 93011 Saint-Denis La Plaine cedex - France

#### Application

##### Domains of application

- All types of cement (except white)
- Ready-mixed concrete with stable workability over time
- Steam cured concrete
- Highly reinforced concrete
- Slabs, industrial floors...

##### Method of use

Dosage: 0.3 to 1.8 kg per 100 kg of cement. A 0.6% dosage of the product to the weight of cement is commonly used.

CHRYSO®Plast 760 is completely miscible in water. It should be added to the mix at the same time as the mixing water if a constant workability is required.

The optimum dosage of CHRYSO®Plast 760 can only be established after trial tests, taking into account local conditions affecting the workability of the mix and the mechanical properties required from the concrete.

#### Precautions

- Do not use with white or light coloured concrete.
- Should the product freeze, it will recover its properties after thawing and agitating.
- Shelf life: 18 months.



## CHRYSO®Plast 760

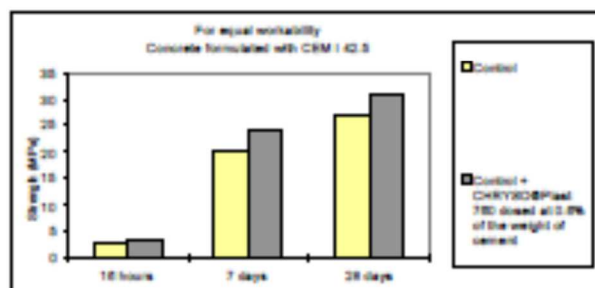
### Water Reducing Plasticizer



#### Application

##### Tests

Example of results obtained according to the methods defined in the ISO 4012 standard (resistance tests).



#### References

- Normandy bridge
- Paris-Rosny 2F airport

#### Safety

CHRYSO®Plast 760 is a product classified as « harmless ». It is recommended to wear normal protective equipment.

For further information, please refer to the safety data sheet on our internet site [www.chryso.com](http://www.chryso.com).

*The information contained in this document is given to the best of our knowledge and the results from extensive testing. However, it cannot, under any circumstances be considered as a warranty involving our liability in case of misuse. Tests should be carried out before any use of the product to ensure that the methods and conditions of use of the product are satisfactory. Our specialists are at the disposal of the users in order to help them with any problem encountered.*

"Please enquire for the latest update"

Last update: 01/06



We create chemistry

## MasterFiber 482

Vlákna z vysokouhlíkové oceli pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolného betonu (HPC & UHPC).

### PŮSOBNÍ

- MasterFiber 482 jsou ocelová vlákna s vysokou pevností v tahu vyrobená z drátů z tvrdé oceli potažených mosazí a jsou určena pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolných betonů.
- Jejich tvar a velikost umožňuje použít velké množství vláken na m<sup>2</sup>, aniž by se snížila schopnost míchání betonu.
- Díky vysoké pevnosti v tahu a možnosti použít vlákna ve velkém množství dokáže MasterFiber 482 účinně redukovat trhliny a pomáhat betonu s popraskanou strukturou přenést větší zátěž a zajistit, že konstrukce bude mít pružné vlastnosti.
- Tato vlákna jsou vhodná pro zásaditá prostředí.

### POUŽITÍ

MasterFiber 482 lze používat v následujících oblastech:

- Sloupy
- Předpjaté nosníkové trámy
- Tažené trouby
- Konstrukční vyztuhy
- A mnoho dalších stavebních prefabrikovaných prvků pro lávky pro pěší, stěny, schodiště...

Vlákna se přidávají do míchačky betonu po přidání záměsové vody a přísad. Směs se musí míchat nejméně 5 minut, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení vláken v betonu. Vlákna MasterFiber 482 se mohou používat v kombinaci se všemi přísadami společnosti BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.

### TECHNICKÉ ÚDAJE

materiál	mosazí potažené ocelové dráty
provedení	monožilní
ekvivalentní průměr	0,20 mm (0,18–0,22 mm)
délka	13 mm (11,8–14,4 mm)
poměr délky a průměru	65
konečná pevnost v tahu	≥ 2200 MPa
absorpce vody	nízká
odolnost vůči zásadám	Vysoká

Uvedené technické údaje jsou výsledkem statistických zjišťování a nepředstavují garantované minimální hodnoty. Pokud bude potřeba pracovat s kontrolovanými údaji, je možné je zajistit na vyžádání ve specifikacích objednávky podané technickému oddělení naší společnosti.



### DÁVKOVÁNÍ

- Dávkování tohoto ocelového vlákna s vysokou pevností v tahu se může pohybovat od 60 do více než 150 kg na m<sup>2</sup> v závislosti na konkrétních charakteristikách, které daný vlákno vyztužený beton má mít.
- Použití MasterFiber 482 jako náhrady za primární ocelovou vyztuž je možné jen po předchozích projektových kalkulacích.
- Vlákna poskytují nekorodující řešení, které je tenčí a lehčí než tradiční přístupy a které je pro uživatele snadnější a méně náročné na zařazení, čímž snižuje náklady na práci a materiál.

### DŮLEŽITÉ UPOZORNĚNÍ

- Před použitím produktu se doporučuje provést výchozí zkoušky.
- Nepoužívejte nižší ani vyšší dávkování, než které je doporučeno, aniž byste se předem poradili s technickým oddělením naší společnosti.

### BALENÍ

- Vlákna jsou balena volně v krabicích o hmotnosti 20 kg.

### SKLADOVÁNÍ

- Materiál je velmi stabilní bez jakýchkoli předpokládaných rizik.
- Chraňte před požárem.

**MASTER®**  
**BUILDERS**  
 SOLUTIONS

## MasterFiber 482

**Vlákna z vysokouhlíkové oceli pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolného betonu (HPC & UHPC).**

### BEZPEČNOSTNÍ PŘEDPISY

Dbejte důsledně pokynů uvedených v bezpečnostním listě.

### POZNÁMKA

Asistence na místě stavby, pokud je poskytována, neznamená převzetí dozorové odpovědnosti. Podrobnější informace můžete získat u místního zástou-

pení společnosti BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. Společnost si vyhrazuje právo určit pravou příčinu v případě jakýchkoli poříz pomocí schválených zkušebních metod.

### TECHNICKÁ PODPORA

Příslušný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.

Zde poskytnuté informace jsou pravdivé, představují naše nejlepší znalosti a jsou založeny nejen na laboratorních pracích, ale i na zkušenostech z terénu. Z důvodu mnoha faktorů ovlivňujících výsledky, tyto informace poskytujeme bez záruk nebo patentové odpovědnosti. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce.

BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.  
F. V. Veselého 276007, 193 00 Praha 9  
Hala C2  
tel.: +420 226 212 050  
e-mail: info.cz@basf.com  
www.master-builders-solutions.basf.cz

Zákaznický servis (přijímá objednávky)  
tel.: +420 489 807 100  
fax: +420 489 807 101  
e-mail: objednávky.cz@basf.com

Sídlo společnosti:  
K Májovu 1244, 537 01 Chrást  
tel.: +420 489 807 111  
fax: +420 489 807 112

Divize Admixture systems  
(informace k produktům)  
Mobil: +420 724 755 574

Pracovní podmínky a rozsah použití produktů jsou rozdílné. V technickém listu jsou uvedeny vlastnostní podmínky ke zpracování materiálů. Zpracování je podmíněno vhodností a možností použití produktů pro zamýšlený účel. V případě pochybností nad tímto vlastnostním popisem je třeba si vyžádat posouzení odborných a technických poradů prodávajícího, které je poskytováno na základě žádosti kupujícího v rámci servisu zákaznického a nelze se jistit vlastnostními podmínkami prodávajícího. Prodávající neodpovídá za škodu, odměň se kupující při odhadu a zabezpečení výstavby od technických podmínek, vlastnostních podmínek, podmínek výroby a dle jejich použitelnosti. Aktuální informace o produktech firmy, stejně jako vlastnostní charakteristiky, jsou dostupné na adrese [www.master-builders-solutions.basf.cz](http://www.master-builders-solutions.basf.cz).  
Vydáno: srpen 2015. Nejnovější vydání platí vždy.

**MASTER®  
BUILDERS  
SOLUTIONS**

Hydroxid sodný		Sodium hydroxide
NaOH	M, 40,00	
CAS: 1310-73-2 EINECS: 215-185-5		
15T60	p.s. / G.R. Cough / Assay Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> SiO <sub>2</sub> Fe Trace Imp. / Heavy Metals (Ag) Nickel / Ni total	min. 96,0% max. 1,5% max. 0,000% max. 0,000% max. 0,000% max. 0,001% max. 0,001% max. 0,000%
15T60	Reij / pure Cough / Assay Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> SiO <sub>2</sub> Nickel / Ni total	min. 97,0% max. 1,5% max. 0,000% max. 0,000% max. 0,01%
Klasifikace podle směrnice 67/548/EEC / Classification according to 67/548/EEC		
 R 35 S (12)-26-37/39-45 Corrosive		
Klasifikace podle nařízení 1272/2008/EC / Classification according to 1272/2008/EC		
 H 314, 335 P 281, 313, 333+353+353 Signalni slovo: Nebezpečí / Signal word: Danger		
Klasifikace podle ADR/RID / Classification according to ADR/RID		
ADR/RID: 8/ 05/ II UN 1823		



## BEZPEČNOSTNÍ LIST

**BEZPEČNOSTNÍ LIST**

podle Nařízení (ES) č. 1907/2006/EC (REACH), ve znění nařízení č. 453/2010/EC

Datum vydání: 8.4.2011

Datum revize: 1.6.2015

**METAKŘEMIČITAN DISODNÝ BEZVODÝ****ODDÍL 1. IDENTIFIKACE LÁTKY / SMĚSI A SPOLEČNOSTI / PODNIKU****1.1 Identifikátor výrobku**

Název: Metakřemičitan disodný bezvodý  
 Indexové číslo: 014-010-00-8  
 Číslo CAS: 6834-92-0  
 Číslo ES (EINECS): 229-912-9  
 Další názvy látky: Sodium metasilicate  
 Molární hmotnost: 122,06  
 Molekulový vzorec:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

**1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití:**  
 analytická chemie, laboratorní syntézy

**1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu**

Distributor: Ing. Petr Švec - PENTA s.r.o.  
 Radiová 1122/1  
 102 00 Praha 10  
 IČ: 020 96 013  
 Telefon: +420 226 060 681, +420 226 060 697  
 Fax: +420 267 008 288  
 Informace k bezpečnostnímu listu: info@pentachemicals.eu

**1.4 Telefonní číslo pro naléhavé situace:**

Toxikologické informační středisko, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2;  
 tel. +420 224 919 293; +420 224 915 402 (nepřetržitá lékařská služba), e-mail: tis@vfn.cz

**ODDÍL 2. IDENTIFIKACE NEBEZPEČNOSTI****2.1 Klasifikace látky nebo směsi**

Látka je klasifikována jako nebezpečná podle nařízení (ES) č. 1272/2008.

Skin Corr. 1B: H314  
 STOT SE 3: H335

**2.2 Prvky označení**

Výstražný symbol(y) nebezpečnosti:



Signální slovo: nebezpečí

Indexové číslo: 014-010-00-8

**Standardní věty o nebezpečnosti:**

H314 Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.

H335 Může způsobit podráždění dýchacích cest.

**Pokyny pro bezpečné zacházení:**

P261 Zamezte vdechování prachu.

P280 Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ochranné brýle/obličejový štít.

P304+P340 PŘI VDECHNUTÍ: Přeneste postiženého na čerstvý vzduch a ponechte jej v klidu v poloze usnadňující dýchání.

P305+P351+P338 Při zasažení očí: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyměňte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny, a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.

P310 Okamžitě volejte TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÍ STŘEDISKO/lékaře.

Metakřemičitan disodný bezvodý

strana 1 z 6

# BEZPEČNOSTNÍ LIST

<b><u>2.3 Další nebezpečnost</u></b> Nejsou známa.						
<b>ODDÍL 3. SLOŽENÍ / INFORMACE O SLOŽKÁCH</b> <b><u>3.1 Látky</u></b>						
<i>Chemický název</i>	<i>Obsah v %</i>	<i>Indexové číslo</i>	<i>CAS</i>	<i>EINECS</i>	<i>Klasifikace</i>	<i>Koncentrační limity</i>
Metakřemičitan sodný	min.44 (obsah SiO <sub>2</sub> )	014-010-00-8	6834-92-0	229-912-9	Skin Corr. 1B; H314 STOT SE 3; H335	-
<i>Klasifikace a znění použitých H - viz bod 16.</i>						
<b>ODDÍL 4. POKYNY PRO PRVNÍ POMOC</b> <b><u>4.1 Popis první pomoci</u></b> <i>Nutnost okamžité lékařské pomoci:</i> nutná v případě vážnějšího zasažení látkou <i>Při vdechnutí:</i> vynést postiženého na čerstvý vzduch, vyhledat lékařskou pomoc. Pokud dojde k zástavě dýchání, provádět umělé dýchání (ne přímo z úst do úst). <i>Při styku s kůží:</i> odstranit kontaminované součásti oděvu a kontaminovanou obuv. Zasažené místo omývat velkým množstvím vody. V případě přetrvávajících potíží vyhledat lékařskou pomoc. <i>Při styku s okem:</i> okamžitě po zasažení vyplachovat oči velkým množstvím vody při otevřených očních víčkách (15-20 minut). Vyhledat lékařskou pomoc. <i>Při požití:</i> vypláchnout ústa a vypít velké množství vody, vyhledat lékařskou pomoc. <b><u>4.2 Nejzávažnější akutní a opožděné symptomy a účinky</u></b> Dráždivé a leptavé účinky (až popáleniny), zvracení, průjem. <b><u>4.3 Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření</u></b> Nejsou specifické pokyny, postupovat symptomaticky.						
<b>ODDÍL 5. OPATŘENÍ PRO HAŠENÍ POŽÁRU</b> <b><u>5.1 Hasiva</u></b> <i>Vhodná hasiva:</i> hasiva přizpůsobit látkám skladovaným v okolí-CO <sub>2</sub> , voda, prášek, pěna <i>Nevhodná hasiva:</i> nejsou známa <b><u>5.2 Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi</u></b> Nehořlavá látka. V případě požáru může dojít k vytváření hořlavých plynů nebo výparů. <b><u>5.3 Pokyny pro hasiče</u></b> Používat zvláštní ochranné prostředky (např. dýchací technika, protichemický oblek).						
<b>ODDÍL 6. OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU</b> <b><u>6.1 Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy</u></b> Používat osobní ochranné prostředky - zamezit kontaktu s látkou, zamezit vytváření prachu. Nevdechovat prach. V uzavřených místnostech zajistit přívod čerstvého vzduchu. <b><u>6.2 Opatření na ochranu životního prostředí</u></b> Zabránit úniku produktu do životního prostředí, vodních zdrojů, kanalizace nebo půdy. Pokud se produkt dostal do povrchových a podzemních vod a půdy, informovat příslušné orgány zabývající se ochranou životního prostředí. <b><u>6.3 Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění</u></b> Opatrně provést mechanický úklid, shromáždit do krytých kontejnerů a nechat zlikvidovat specializovanou firmou. <b><u>6.4 Odkaz na jiné oddíly</u></b> Viz. body 8, 13 tohoto bezpečnostního listu.						

Metakřemičitan disodný bezvodý

strana 2 z 6

## ODDÍL 7. ZACHÁZENÍ A SKLADOVÁNÍ

### 7.1 Opatření pro bezpečné zacházení

Používat osobní ochranné prostředky, dodržovat zásady osobní hygieny. Zabránit dlouhodobé nebo opakované expozici. Zabránit kontaktu s látkou, nevdechovat prach. Pracovat v digestoři.

### 7.2 Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí

Skladovat v těsně uzavřených obalech na suchém, chladném dobře větraném místě, chráněném před světlem. Skladovací teplota max. 25 °C. Chránit před vlhkostí. Izolovat od kyselin.

### 7.3 Specifické konečné/ specifická konečná použití: není známo

## ODDÍL 8. OMEZOVÁNÍ EXPOZICE / OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY

### 8.1 Kontrolní parametry

Limitní hodnoty expozice v ČR dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.:

Přípustný expoziční limit PEL: není stanoven

Nejvyšší přípustná koncentrace NPK-P: není stanovena

Faktor přepočtu z mg/m<sup>3</sup> na ppm (25 °C, 100 kPa): nejsou stanoveny

Limitní hodnoty EU dle směrnice Rady 98/24/ES:

Nejsou stanoveny.

### 8.2 Omezování expozice

Zabezpečit odsávání nebo místní větrání. Dodržovat pracovní hygienu, při práci nejíst, nepít a nekouřit. Dodržovat bezpečnostní pokyny pro práci s chemikáliemi.

**8.2.1 Vhodné technické kontroly:** postupovat dle požadavků nařízení č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.

**8.2.2 Individuální ochranná opatření včetně osobních ochranných prostředků:**

**Ochrana očí a obličeje:** uzavřené brýle, které jsou zabezpečeny proti prostupu prachu

**Ochrana kůže:** vhodný ochranný oděv, pracovní obuv

**Ochrana rukou:** vhodné ochranné rukavice (nitrilová pryž: tloušťka vrstvy: 0,11 mm, doba iniciace: >480 min.)

**Ochrana dýchacích cest:** respirátor, maska s filtrem proti prachu

**8.2.3 Omezování expozice životního prostředí:** zabránit kontaminaci povrchových a podzemních vod a půdy dodržováním emisních limitů

## ODDÍL 9. FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI

### 9.1 Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech

#### Vzhled

Skupenství: pevné  
Barva: bílá  
Zápach (vůně), prahová hodnota: bez zápachu

Hodnota pH: 12,5 (10 g/l při 20 °C)

Bod (rozmezí teplot) varu (°C): není k dispozici

Bod tání /bod tuhnutí (°C): 1 090

Hořlavost: nehořlavý

Bod vzplanutí (°C): není k dispozici

Bod vznícení (°C): není k dispozici

Výbušnost: není k dispozici

meze výbušnosti: horní (% obj.): není k dispozici

dolní (% obj.): není k dispozici

Oxidační vlastnosti: nejsou

Tenze par (20 °C): hPa není k dispozici

Relativní hustota (20 °C): g/cm<sup>3</sup> 2,61

Rozpustnost (20 °C):

ve vodě: g/l 350

v jiných rozpouštědlech: není k dispozici

Rozdělovací koeficient n-oktanol/voda: není k dispozici

Viskozita (20 °C): mPa.s není k dispozici

Metakřemičitan disodný bezvodý





### ODDÍL 13. POKYNY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ

#### **13.1 Metody nakládání s odpady**

Zbytky látky stejně jako oplachové vody nesmí být vypouštěny do půdy, veřejné kanalizace ani do blízkosti vodních zdrojů a vodotečí. Materiál likvidovat jako nebezpečný odpad oprávněnou firmou v souladu s platnou legislativou.

**Metody zneškodňování látky nebo přípravku a znečištěného odpadu:** nechat zlikvidovat specializovanou firmou v souladu s platnými předpisy (spalování). Nikdy nemíchat s jiným odpadem.

**Metody likvidace znečištěného obalu:** použitý, řádně vyprázdněný obal odevzdejte na sběrné místo obalových odpadů.

**Právní předpisy o odpadech:** zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. v platném znění a prováděcí vyhlášky č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů. Vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady. Vyhláška č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů.

### ODDÍL 14. INFORMACE PRO PŘEPRUVU

#### **ADR:**

**14.1 Číslo UN:** 3253

**14.2 Přepavní název (ADR/RID):** ORTHOKŘEMIČITAN SODNÝ

**14.3 Třída nebezpečnosti pro přepravu:** 8

**Bezpečnostní značky:** 8

**14.4 Obalová skupina:** III

**14.5 Nebezpečnost pro životní prostředí (EMS-pohotovostní plán):** -

**14.6 Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele:** zamezit úniku do životního prostředí

**Přepavní kategorie:** 3

**Kód omezení pro tunely:** E

**14.7 Hromadná přeprava podle přílohy II MARPOL 73/78 a předpisu IBC:** není k dispozici

**Specifické požadavky pro přepravu:**

**Přeprava po moři IMDG: Látka znečišťující moře:** ne

EMS: F-A, S-B

### ODDÍL 15. INFORMACE O PŘEDPISECH

#### **15.1 Nařízení týkající se bezpečnosti, zdraví a životního prostředí/specifické právní předpisy týkající se látky nebo směsi:**

Klasifikace a označení látky je v souladu s těmito nařízeními:

Nařízení REACH: Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek; v platném znění

Nařízení CLP: Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí; v platném znění

**Národní předpisy týkající se ochrany osob nebo životního prostředí:**

Nařízení vl. č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v platném znění

Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, v platném znění

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění

Zákon č. 254/2001 Sb., vodní zákon

Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích

Vyhláška č. 432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, v platném znění

#### **15.2 Posouzení chemické bezpečnosti:**

Pro tuto látku bylo provedeno posouzení chemické bezpečnosti: ne

## ODDÍL 16. DALŠÍ INFORMACE

a) *Revize:* č.1 (4.3.2014) - v odd. 1 změna kontaktních údajů  
*Revize:* č.2 (1.6.2015) - v odd. 2, 3 a 16 vypuštění klasifikace DSD (Dangerous Substances Directive (67/548/EEC) směrnice o nebezpečných látkách); v odd. 1 změna emailové adresy Toxikologického informačního střediska; v odd. 15 doplnění české legislativy

### b) *Legenda ke zkratkám:*

CLP-nařízení č.1272/2008/ES o klasifikaci, označování a balení látek a směsí;  
 REACH-nařízení č.1907/2006/EC o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek.  
 ADR-evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí.  
 CAS-číslo, uvedené v seznamu Chemical abstract service  
 EINECS-evropský seznam existujících obchodovatelných chemických látek  
 LC50-smrtelná koncentrace látky, při které lze očekávat, že způsobí smrt 50% populace  
 LD50-smrtelná dávka látky, při které lze očekávat, že způsobí smrt 50% populace  
 IC50-koncentrace působící 50% blokádu  
 EC50-koncentrace látky, při které je zasaženo 50% populace  
 PBT-perzistentní, bioakumulativní a toxický; vPvB-velmi perzistentní, velmi bioakumulativní  
 MSDS-bezpečnostní list  
 RTECS-registr toxických účinků chemických látek

c) *Použitá literatura, zdroje:* firemní databáze, internet, BL výrobce, Marhold - Přehled průmyslové toxikologie, The Merck Index.

d) nejedná se o směs

e) *Kategorie nebezpečnosti, seznam kódů tříd a seznam příslušných H-vět:*

Skin Corr. 1B (=Skin corrosion, category 1B) - Žíravost pro kůži, kategorie 1B  
 STOT SE 3 (=Specific target organ toxicity-single exposure, category 3) - Toxicita pro specif. cílové orgány-jednorázová expozice, kategorie 3

H314 Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.  
 H335 Může způsobit podráždění dýchacích cest.

### f) *Pokyny pro školení:*

Pracovníci, kteří přicházejí do styku s nebezpečnými látkami, musí být organizací v potřebném rozsahu seznámeni s účinky těchto látek, se způsoby jak s nimi zacházet, s ochrannými opatřeními, se zásadami první pomoci, s potřebnými asanačními postupy a s postupy při likvidaci poruch a havárií.  
 Právnícká osoba anebo podnikající fyzická osoba, která nakládá s tímto chemickým produktem, musí být proškolená z bezpečnostních pravidel a údajů uvedenými v bezpečnostním listu.  
 Osoby přepravující nebezpečné látky musí být seznámeni s pokyny pro případ nehody v souladu s předpisy ADR/RID.

Údaje v tomto BEZPEČNOSTNÍM LISTU odpovídají dnešnímu stavu znalostí a vyhovují národním zákonům a směrnicím Evropského společenství.  
 Zákazník a zpracovatel jsou odpovědní za dodržování platných zákonných ustanovení. Tento BEZPEČNOSTNÍ LIST popisuje požadavky pro zajištění bezpečné manipulace, nepředstavuje však garanci vlastností tohoto výrobku.



## Desil Al

**Chemický název:** Desil Al

**Charakteristika:** Koloidní roztok s přídavkem hliníku, který se liší ve složení a vlastnostech od klasických koloidních roztoků alkalických silikátů označovaných jako vodní skla. Desil Al je koloidní roztok, struktura jeho manometrických částic je velmi podobná struktuře zeolitů, atomy hliníku vytváří lokální negativní náboj, který váže ion Na mnohem pevněji. Tím se liší od klasických vodních skel. Desil Al má snížený koagulační práh a má jiné charakteristiky pevnosti a pružnosti vzniklých pojivových soustav při vyšších teplotách.

**Specifikace:**

Parametry	Jednotky	Desil Al 0,8	Desil Al 0,7	Desil Al
Hustota (20°C)	kg/m <sup>3</sup>	1530 - 1540	1530 - 1550	1470 - 1570
Obsah Al	%	0,5 - 0,8	0,6 - 0,9	0,1 - 2,0
Koagulační práh (% Na <sub>2</sub> O)	%	5,6 - 5,8	5,5 - 5,7	-
Viskozita (20°C)	mPa.s	200 - 600	200 - 600	-
Molární poměr SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O	-	-	-	1,60 - 2,20

**Balení:** Desil Al se balí do 200 l PE sudů, 1000 l PE kontejnerů nebo volně ložený v železničních cisternách nebo autocisternách, také ocelové nebo PE obaly dodané zákazníkem od 50 l výše.

**Použití:** Jako slévárenské pojivo, které je určeno k výrobě forem a jader, při zpracování odpadů, při výrobě detergentů a čistících prostředků, při výrobě tepelně izolačních materiálů. Podle požadavků zákazníka je možné upravit hodnotu koagulačního prahu, hodnotu hustoty, případně viskozity.

**Skladování:** Skladovat v originálních, neporušených a dobře uzavřených obalech nebo velkokapacitních zásobnících.

**Datum aktualizace:** 02. 04. 2012

Vodní sklo, a.s. | Praha 1 | Nové Město | Krakovská 1346/15 | PSČ 110 01 | IČ: 279 21 662

pobožka: Brno | Domych 47 | PSČ 602 00 | tel.: +420 530 530 000 | fax: +420 530 530 000 | e-mail: info@vodnisklo.cz | www.vodnisklo.cz

pobožka: Ústí nad Labem | U Tonsa 1722 | PSČ 403 31 | tel.: +420 475 245 362 | fax: +420 475 537 154 | e-mail: info@vodnisklo.cz | www.vodnisklo.cz





The Chemical Company

Technický list č.: 658

# Lentan VZ 31

Prísada zpomalující tuhnutí betonů a malt, určená pro náročné průmyslové a dopravní konstrukce. Prísada odpovídá normě EN 934-2.

## Použití

- Lentan VZ 31 se používá na zpomalení počátku tuhnutí betonů a malt.
- Pro omezení prudkého výstupu hydratačního tepla.
- Pro betonáže masivních konstrukcí.
- Pro delší dobu zpracování betonu.

## Působení

Lentan VZ 31 ovlivňuje v cementu reakci C<sub>3</sub>A. Tím se normální hydratace cementu zpomalí. Snižuje vývoj hydratačního tepla v betonu. Množství alkálií přísadou vnesené do betonu vyjádřené jako Na<sub>2</sub>O ekvivalent nepřesahuje 12 % hmotnosti.

- Odpovídá EN 934-2: TB
- Odpovídá požadavkům DIN V 18908
- Vhodná pro předpjaté dílce podle DIN V 20000-100:2002-11 čl. 4.4
- Vhodná podle DIN V 20000-100:2002-11 čl. 6
- Odpovídá požadavkům ZTV ING a ZTV StB 01
- Vhodná pro konstrukce ve styku s pitnou vodou podle DVGW pracovní list W347

**Příklad:** doba zpracovatelnosti betonu B 25 namíchaného dle DAfStb-Richtlinie pro betony s prodlouženou dobou zpracovatelnosti s cementem CEM I 32,5 R při 20 °C:

Dávkování Lentanu VZ 31 % hmotnosti cementu	Doba zpracovatelnosti (h) B 25 s CEM I 32,5 R
0,0	3
0,5	7
0,8	16
2,2	24

## Technické údaje

Vzhled	načíslená tekutina
Objemová hmotnost (při +20°C)	1,24 ± 0,03 g/cm <sup>3</sup>
Obsah chloridů	pod 0,1 % objemových
Obsah alkálií (ekv. Na <sub>2</sub> O)	< 0,1 % objemových

## Dávkování

- Účinné dávkování obecně je mezi 0,1–2,2 % z hmotnosti cementu. Konkrétní dávkování je závislé na množství faktorů, např. na požadované zpracovatelnosti, druhu cementu, atd.
- Před použitím je nutné provést příkazní zkoušku dle ČSN EN 206-1 a souvisejících předpisů (směrnice DAfStb, TKP apod.)

## Zpracování

- Na betonárně se doporučuje přidat přísadu společně se záměsovou vodou popř. dodatečně do hotové betonové směsi.
- Zpomalovač lze také zamíchat přímo na staveništi bezprostředně před vyprázdněním automatu.
- Vždy je nutné dodržet minimální dobu míchání:
  - v případě přidání v betonárně: 1 min. (dle intenzity míchacího jádra)
  - v případě zamíchání v automatu: 5 až 8 min. (dle množství betonu)
- Při současném použití přísady od jiného výrobce je nutno odzkoušet jejich vzájemnou snášenlivost.
- Při současném použití Lentanu VZ 31 a některých plastifikátorů jako je například Liquol BV 11 (BV 18, Glenium C 323 Mix apod.) může, při dávkování přes stejné zařízení, dojít k reakci obou přísad a k jeho ucpání. Působení přísad v betonu tím ovlivněné není.
- Doporučujeme zamazat při skladování a dávkování Lentanu VZ 31 jeho smíchání s jinou přísadou.

## Balení

- Kanistr 20 kg nebo 25 kg dle stavu na skladě
- Sud 200kg nebo 220 kg dle stavu na skladě
- Kontejner 1000 kg

## Skladování

- Chránit před mrazem a zmražením
- Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, 20 °C) zaručuje výrobce trvanlivost min. 12 měsíců, po té je nutno produkt homogenizovat.

## Bezpečnostní pokyny

- Při skladování a manipulaci je třeba dbát ustanovení vyhlášky č. 356/2003 Sb. v platném znění.
- Při práci používat ochranné brýle a rukavice.
- Při zasažení očí: Důkladně vyplachovat vodou a vyhledat lékařskou pomoc.
- Při zasažení pokožky: Umýt větším množstvím vody a ošetřit krémem.
- Při požití: Nevyvolávat zvracení a vyhledat lékaře.
- Při práci používat ochranné brýle a rukavice.
- Další podrobné údaje jsou uvedeny v Bezpečnostním listě, který zasíláme na vyžádání.
- Lentan VZ 31 je nebezpečná látka dle zákona 356/2003 Sb., označení Xi, je dráždivá pro oči.

**WOERMANN**